

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

«На правах рукопису»

УДК 676.166.6+620.3

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Гомеля М.Д.

«__» _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія

тему: «Використання nanoцелюлози у виробництві паперу санітарно-гігієнічного призначення у Приватному акціонерному товаристві «Київський картонно-паперовий комбінат»»

Виконав:

студент II курсу, групи ЛЦ-91мп

Бойко В.В.

Керівник:

Кандидат хімічних наук, професор,

Барбаш. В.А.

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 161 **Хімічні технології та інженерії** (хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Гомеля М.Д.

« » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Бойко Віталій Вікторович

1. Тема дисертації «Використання nanoцелюлози у виробництві паперу санітарно-гігієнічного призначення у Приватному акціонерному товаристві «Київський картонно-паперовий комбінат»», науковий керівник дисертації Барбаш В.А., кандидат хімічних наук, професор, затверджені наказом по університету від 03.11.2020 р. №_3207-с/
2. Термін подання студентом дисертації 16.12.2020.
3. Об'єкт дослідження – процеси одержання санітарно-гігієнічного паперу з додаванням nanoцелюлози.
4. Предмет дослідження – технологічні параметри процесу одержання санітарно-гігієнічного паперу з додаванням nanoцелюлози.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити – Використання nanoцелюлози у виробництві картонно-паперової продукції, одержання nanoцелюлози із пшеничної соломи та вплив nanoцелюлози на фізико-механічні показники санітарно-гігієнічного паперу.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу – Використання nanoцелюлози у виробництві паперу санітарно-гігієнічного призначення у Приватному акціонерному товаристві «Київський картонно-паперовий комбінат», Мета і задачі дослідження, Об'єкт та предмет дослідження. Інновації у технологічному процесі виробництва санітарно-гігієнічного паперу, Дослідження процесу одержання nanoцелюлози із пшеничної соломи, Одержання органосольвентної целюлози із стебла пшеничної соломи, Процес облагородження целюлози, Влив nanoцелюлози на показники санітарно-гігієнічного паперу, Впровадження двох потоків для лисяної та хвойної целюлози, Впровадження плоскоіткового формувального пристрою, Встановлення відсмоктувальні ящики типу «Ротобельт», Технологічна схема виробництва санітарно-гігієнічного паперу.

7. Орієнтовний перелік публікацій – 1. Бойко В. В., Ященко О. В. Барбаш В. А. Одержання nanoцелюлози із пшеничної соломи. Збірник тез доповідей XVIII міжнародної наук.-практичної конференції студ., аспірантів і молодих вчених "Ресурсо-енергозберігаючі технології та обладнання" (21-22 травня 2020 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. С.156-158;

2. Boiko V.V., Yashchenko O.V., Barbash V.A. Use of nanocellulose from wheat straw as a reinforcing additive in paper production. Збірник тез доповідей XIX міжнародної наук.-практичної конференції студ., аспірантів і молодих вчених "Ресурсо-енергозберігаючі технології та обладнання" (25-26 листопада 2020 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020, с.259-263

9. Дата видачі завдання 01.09. 2020 року

Календарний план

№ з/ п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Підготовка літературного огляду з теми дисертації	01.09.2020 – 26.10.2020 рр	
2	Підготовка пшеничної соломи до варіння целюлози, придатної для одержання наноцелюлози.	01.09.2020 – 10.10.2020 рр.	
3	Варіння органосольвентної целюлози	11.10.2020– 30.10.20 рр.	
4	Одержання наноцелюлози із солом'яної органосольвентної целюлози	31.10.2020 – 14.11.2020 рр.	
5	Проведення досліджень та визначення показників якості санітарно- гігієнічного паперу з додаванням наноцелюлози	15.11.2018 – 30.11.2020 рр.	
6	Розробка стартап-проекту	01.12.2020 – 11.12.2020 рр.	
8	Оформлення магістерської дисертації	10.10.2020 – 14.12.2020 рр.	

Студент

Бойко В.В.

Науковий керівник

Барбаш В.А

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 78 стор., рис. 17, табл. 24, першоджерел 17.

Актуальність теми: На даний час в Україні відсутнє власне виробництво волокнистих напівфабрикатів. Тому перспективою створення власного виробництва первинного целюлозного волокна може стати переробка однорічних рослин екологічно безпечними способами, які в подальшому можна використовувати для виробництва паперу та картону, хімічного перероблення, зокрема для одержання наноцелюлози.

У світовій практиці наноцелюлоза розглядається як зміцнююча добавка для покращення показників паперу і тому в магістерській дисертації запропонована технологія одержання наноцелюлози із волокон пшеничної соломи і досліджено її вплив на папір для санітарно-гігієнічного призначення, що дозволить покращити фізико-механічні показники паперової продукції та економічне споживання первинного целюлозного волокна.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Деякі результати досліджень отримано в процесі виконання держбюджетних науково-дослідних робіт № 2002-п «Розробка екологічно більш чистих технологій одержання композиційних матеріалів на основі наноцелюлози, мікрокристалічної та оксицелюлози із вітчизняної рослинної сировини» (номер держреєстрації 0117 U 004265) та № 2301-п «Екологічно безпечні технології перероблення недеревної рослинної сировини у наноцелюлозні композиційні матеріали для органічного пакування і зеленої гнучкої електроніки» (номер держреєстрації № 0120U102056).

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської дисертації є одержання целюлози із пшеничної соломи екологічно безпечним органосольвентним способом

отримання наноцелюлози із органосольвентної целюлози із пшеничної соломи та застосування наноцелюлози у виробництві санітарно-гігієнічного паперу.

Для досягнення вказаної мети було поставлено наступні задачі:

1. Провести аналітичний огляд літератури основних характеристик наноцелюлози, способів її виготовлення та напрямів використання.
2. Одержати целюлозу із волокна пшеничної соломи органосольвентним способом з використанням оцтової кислоти і перексиду водню. Дослідити вплив параметрів процесу делігніфікації пшеничної соломи сумішшю оцтової кислоти і перексиду водню та процесу лужної обробки на показники якості отриманої целюлози.
3. Дослідити вплив тривалості процесу гідролізу органосольвентної солом'яної целюлози сульфатною кислотою та тривалості ультразвукової обробки на показники якості наноцелюлози.
4. Виготовити та дослідити зразки санітарно-гігієнічного паперу з використанням наноцелюлози у масу.
5. Запропонувати інновації у технологічний процес виробництва паперу санітарно-гігієнічного призначення у Приватному акціонерному товаристві «Київський картонно-паперовий комбінат».

Об'єкт дослідження – процеси одержання із ~~волокон~~ пшеничної соломи органосольвентної целюлози, наноцелюлози та дослідження її як зміцнююча добавка до санітарно гігієнічного паперу.

Предмет дослідження – технологічні параметри процесу одержання целюлози і наноцелюлози із пшеничної соломи та її використання у технологічному процесі виробництва паперу санітарно-гігієнічного призначення.

Методи дослідження: для визначення хімічного складу рослинної сировини, показників якості волокна пшеничної соломи і целюлози, а також показників міцності наноцелюлозних плівок та отриманого санітарно-гігієнічного

паперу використовували стандартні хімічні, фізико-механічні та фізико-хімічні методи аналізу. Знімки скануючої електронної мікроскопії стебел пшеничної соломи і целюлози отримано на приладі РЕМ – 106I.

Наукова новизна одержаних результатів:

Одержано целюлозу із пшеничної соломи органосольвентним способом з використанням розчину оцтової кислоти і пероксиду водню. Органосольвентна целюлоза із волокон пшеничної соломи оброблялася розчином гідроксиду натрію та встановлено залежність зміни показників якості целюлози із пшеничної соломи від тривалості її обробки, встановлено залежність виходу, вмісту золи та залишкового лігніну від тривалості варіння.

Проведено гідроліз органосольвентної целюлози із пшеничної соломи сульфатною кислотою. Проведено ультразвукову обробку наноцелюлози із волокон пшеничної соломи. Визначено фізико-хімічні характеристики целюлозних відливочок санітарно-гігієнічного паперу з додаванням наноцелюлози.

Практичне значення одержаних результатів. Показана можливість використання пшеничної соломи як сировину для одержання целюлози, придатної для виробництва наноцелюлози та застосування наноцелюлози як зміцнююча добавка для паперу санітарно-гігієнічного призначення.

Апробація результатів дисертації. Результати виконаної роботи представлені у тезах доповідей на міжнародних науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених:

1. Бойко В. В., Ященко О. В. Барбаш В. А. Одержання наноцелюлози із пшеничної соломи. Збірник тез доповідей XVIII міжнародної наук.-практичної конференції студ., аспірантів і молодих вчених "Ресурсо-енергозберігаючі технології та обладнання" (21-22 травня 2020 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. С.156-158;

2. Boiko V.V., Yashchenko O.V., Barbash V.A. Use of nanocellulose from wheat straw as a reinforcing additive in paper production. Збірник тез доповідей XIX міжнародної наук.-практичної конференції студ., аспірантів і молодих вчених "Ресурсо-енергозберігаючі технології та обладнання" (25-26 листопада 2020 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020., с. 259-163.

ПШЕНИЧНА СОЛОМА, ЛУЖНА ОБРОБКА, ОРГАНОСОЛЬВЕНТНЕ ВАРІННЯ,
ЛІГНІН, ГІДРОЛІЗ, УЛЬТРАЗВУК, НАНОЦЕЛЮЛОЗА, САНІТАРНО-
ГІГІЄНИЧНИЙ ПАПІР

SUMMARY

Master's dissertation: p. 78, tabl. 17, fig.24, ref. 17.

Relevance of the topic: At present, Ukraine does not have its own production of fibrous products, the prospect of creating its own production of primary cellulose fiber may be the processing of annual plants in environmentally friendly ways, which can be used for paper and cardboard, chemical processing and nanocellulose synthesis.

Nanocellulose can be considered as a strengthening reagent for improves performance paper i tomu a master's thesis suggestions technology of nanocellulose production with wheat straw fiber and its effect on paper for sanitary and hygienic purposes, which will improve the physical and mechanical performance of paper products and economic consumption of primary cellulose fiber.

Connection of work with scientific programs, plans, themes. Some research received in the process of execution state budget research work number 2002-P " Development environmentally more friendly tehnohohiy obtaining compositional materials on based on nanocellulose, microcrystalline and oxycellulose with domestic plant raw materials " (state registration № 0117 U 004 265) and the number 2301-p " Ecologically safe technologies for processing non-woody vegetable raw materials into nanocellulose composite materials for organic packaging and green flexible electronics "(state registration number № 0120U102056).

The purpose and objectives of the study. Purpose master's thesis is obtaining pulp from wheat straw ecology safe method of delignification, development of technology for obtaining nanocellulose from organosolvent cellulose from organosolvent cellulose from wheat straw and application of nanocellulose in production sanitary paper.

To achieve this goal, the following tasks were set:

1. To conduct an analytical review of the literature of the main characteristics of nanocellulose, methods of its manufacture and areas of use.

2. Obtain cellulose from wheat straw fiber by organosolvent method using acetic acid and hydrogen peroxide.

Investigate the influence of the parameters of the process of delignification of wheat straw fibers with a mixture of acetic acid and hydrogen peroxide and the process of alkaline treatment on the quality indicators of the obtained cellulose.

3. To make and investigate samples of sanitary and hygienic paper with the use of nanocellulose in fiber.

4. To offer innovations in the technological process of production of sanitary paper in the Private Joint-Stock Company "Kyiv Cardboard and Paper Mill".

5. To propose innovations in the technological process of production of sanitary paper in the Private Joint-Stock Company "Kyiv Cardboard and Paper Mill".

The object of research is the processes of obtaining organosolvent cellulose, nanocellulose from wheat straw fibers and its research as a reinforcing additive to sanitary paper.

The subject of research is the technological parameters of the process of obtaining cellulose and nanocellulose from wheat straw fibers and its use in the technological process of production of sanitary paper.

Research methods: to determine the chemical composition of plant raw materials, indicators of wheat straw and cellulose fiber quality, as well as indicators of the strength of nanocellulose pellicle, and the obtained sanitary and hygienic quality. Scanning electron microscopy images of wheat straw and cellulose stems were obtained on the SEM - 106I instrument.

Scientific novelty of the obtained results: Cellulose was obtained from wheat straw fibers by the organosolvent method using a solution of acetic acid and hydrogen peroxide. The influence of the parameters of the process of delignification of kenaf fibers

with a mixture of acetic acid and hydrogen peroxide on the quality indicators of the obtained cellulose has been studied.

Organosolvent cellulose from wheat straw fibers was treated with sodium hydroxide solution and the dependence of the change in the quality indicators of cellulose from kenaf fibers on its temperature and duration was established.

Hydrolysis of organosolvent pulp from wheat straw with sulfuric acid was carried out, the dependence of yield, ash content and residual lignin on the duration of cooking was established. Ultrasonic treatment of nanocellulose from wheat straw fibers was performed. The influence of the change in the duration of ultrasonic treatment on the transparency of nanocellulose films has been studied. The physicochemical characteristics of cellulose castings with the addition of nanocellulose to the fiber and to the paper surface were determined.

The surface of the paper for sanitary and hygienic purposes was treated with a suspension of nanocellulose from wheat straw and the physico-mechanical parameters of the obtained paper with surface application and addition of nanocellulose were studied.

Practical significance of the obtained results. The possibility of using wheat straw fibers as a raw material for the production of cellulose suitable for the production of nanocellulose and the use of nanocellulose as a reinforcing additive for sanitary paper is shown.

Approbation of dissertation results. The results of the work are presented in the abstracts of reports at international scientific-practical conferences of students, graduate students and young scientists. Boiko VV, Yashchenko OV Barbash VA Obtaining nanocellulose from wheat straw. Collection of abstracts of the XVIII international scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists «Ресурси та енергозберігаючі технології та обладнання» (21-22 травня 2020 р., Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. - К.: КПІ. Ігор Сікорський », 2020. С.156-158;

Boiko VV, Yashchenko OV, Barbash VA Use of nanocellulose from wheat straw as a reinforcing additive in paper production. Collection of abstracts of the XIX international scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Resource and energy-saving technologies and equipment" (November 25-26, 2020, Kyiv) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020., с. 259-163.

WHEAT STRAW, ALKALINE TREATMENT, ORGANOSOLVENT COOKING, LIGNIN, HYDROLYSIS, ULTRASOUND, NANOCELLULOSE, SANITARY PAPER

ЗМІСТ

ВСТУП.....	0
шибка! Закладка не определена.	
1 ОДЕРЖАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Характеристика зміцнюючих добавок у виробництві паперу і картону.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Загальна характеристика і сфери використання наноцелюлози	19
1.3 Іновації, що пропонуються ввести в існуючу технологічну схему виробництва санітарно-гігієнічного паперу	
Ошибка! Закладка не определена.	
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	Ошибка! Закладка не определена.
3 ОДЕРЖАННЯ ОРГАНΟΣΟΛΒΕΝТНОЇ ЦЕЛЮЛОЗИ ІЗ СТЕБЕЛ ПШЕНИЧНОЇ СОЛОМИ.....	34
4 ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ГІДРОЛІЗУ ТА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ НА ПОКАЗНИКИ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
5 ВПЛИВ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ НА ТЕХНІЧНІ УМОВИ САНИТАРНО-ГІГІЄНІЧНОГО ПАПЕРУ	43
6.РЕКОМЕНДОВАНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА САНИТАРНО-ГІГІЄНІЧНОГО ПАПЕРУ	46
6.1 Опис технологічної схеми виробництва санітарно-гігієнічного паперу	47
7. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	51
8 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	Ошибка! Закладка не определена.
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	69

ДОДАТОК А. КОПІЇ

ПУБЛІКАЦІЇ.....**Ошибка! Закладка не определена.**

ВСТУП

В ХХІ ст. папір є важливою складовою нашого повсякденного життя. Щороку асортимент паперу збільшується. Це пов'язано з технічним прогресом та зі збільшенням попиту на продукт.

Папір – матеріал, який складається в основному з рослинних волокон, певним чином оброблених і хаотично з'єднаних в одне полотно, в якому волокна зв'язані між собою поверхневими силами зчеплення. З'єднання дрібних волокон паперу зазвичай відбувається методом осадження та фільтрації на сітці папероробної машини з дуже розбавленої в воді волокнистої суспензії, з наступним пресуванням, сушінням і обробленням отриманої продукції. Для надання паперу потрібних споживчих властивостей до волокнистої суспензії додають, наприклад, проклеюючі речовини, мінеральні наповнювачі та допоміжні хімічні речовини.

Папір санітарно-гігієнічного призначення об'єднує значну кількість продукції з подібними властивостями.

Зазвичай, папір санітарно-гігієнічного призначення це: серветки, скатертини, носові хусточки, папір для рук промислового використання, рушники, туалетний, кухонний, спресований папір і т.д.

За останні роки виробництво туалетного паперу в Україні склало приблизно 650 млн. рулонів [1].

Одним із провідних виробників за потужністю в Україні з виробництва паперу санітарно-гігієнічного призначеннязі 100% целюлози є ПРАТ «Київський картонно-паперовий комбінат».

Для того щоб зменшити економічні витрати підприємства на купівлю хвойної целюлози і при цьому не втратити, а покращити фізико-механічні показники пропонується додавання в композицію наноцелюлозу. Додання наноцелюлози в паперову масу надає можливість виготовлення папір з тими самими фізико-механічними властивостями, але з меншим використанням хвойної целюлози. Це узгоджується з тенденцією у виробництві паперу до зменшення кількості волокна і, водночас, повинно дозволити більш швидке впровадження наноцелюлозу у галузь [2].

Основними недоліками на підприємстві є затарілі технології підготовки та виробництва паперу, для того щоб виріши ці проблеми, пропонується встановити два потоки підговки маси, встановлення сучасного плоскіткового формувального пристрою, встановлення відмокувальних ящиків на кінці сіткового столу, та впровадження нових хімічних речовин у виобництво.

Тому в магістерській дисертації досліджено одержання целюлози із пшеничної соломи екологічно безпечним органосольвентним способом, отримання наноцелюлози із органосольвентної целюлози та розглянуто застосування наноцелюлози у виробництві санітарно-гігієнічного паперу для вдосконалення технологічного процесу його виробництва, що є важливою науково-практичною задачею.

1 ОДЕРЖАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ

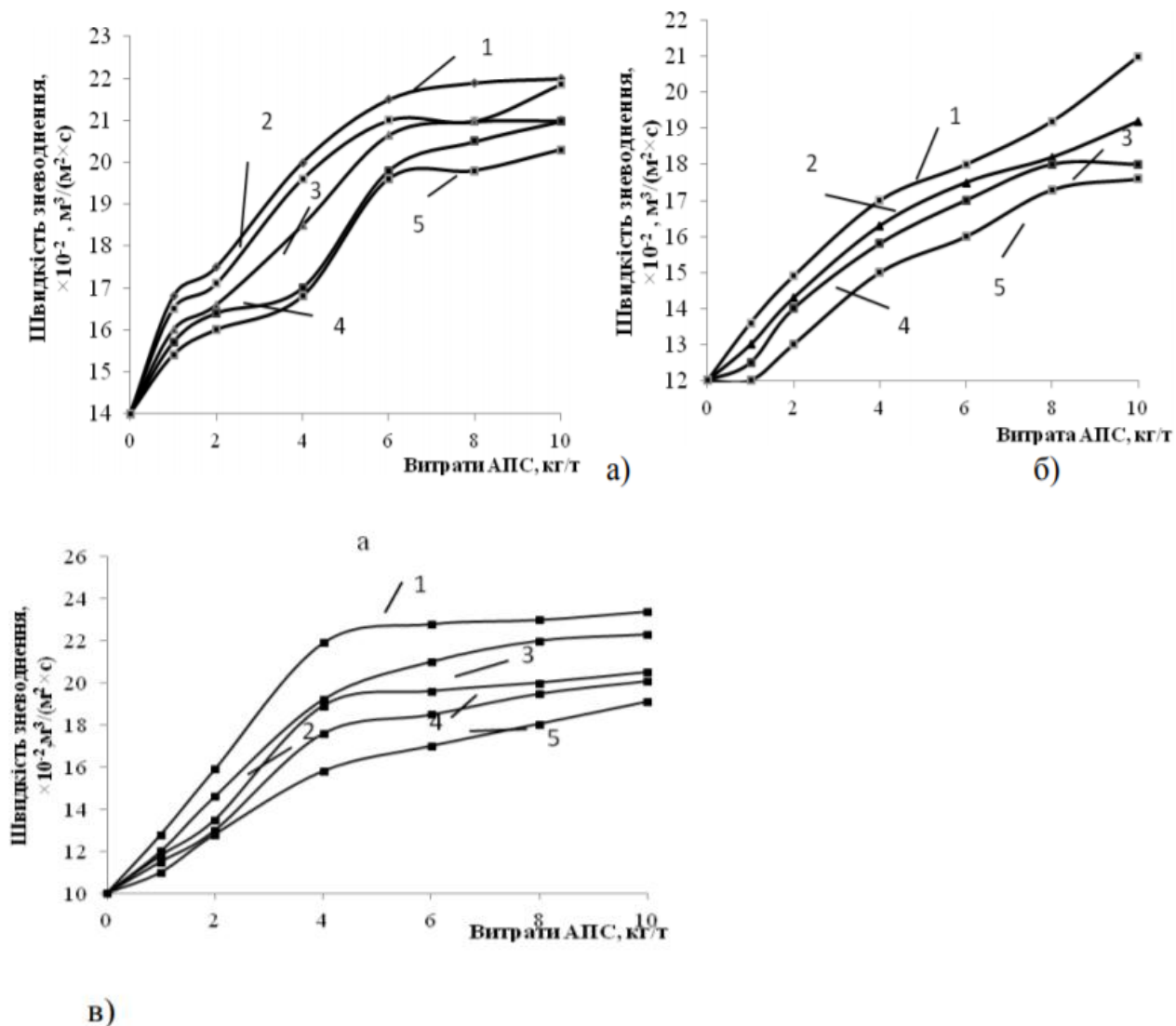
1.1 Характеристика зміцнюючих добавок у виробництві паперу і картону

Одних із провідних методів економії енергії у целюлозно паперовій промисловості - це використання хімічних речовин на сітковому столі папероробної машини щоб покращити зневоднення паперової маси. Ці речовини надають можливість збільшити швидкість машини, покращити показники якості паперу та картону, знизити витати пара при виробництві паперу і картону [3].

В наш час для економії первинного волокна підприємства целюлозно-паперової галузі, які виробляють папір для гофрування і картон для плоских шарів гофрованого картону, перейшли на використання вторинного волокна і вже, мають найбільші обсяги використання макулатури як основного волокнистого напівфабрикату [3].

В целюлозно паперовій індустрії існує перспектива використання екологічно чистих хімічними допоміжними речовинами до волокнистої маси – аморфні полімерні смоли (АПС), які характеризуються сумісністю з поверхнею волокон за рахунок енергії і числа утворених зв'язків [3]. На рис.1.1 показано вплив АПС на зневоднення волокна у сітковій частині папероробної машини.

Аналізуючи ситуацію у світі щодо проблеми раціонального використання та економії целюлози, можна відзначити, що в розвинених країнах питанням розробки й освоєнню виробництва санітарно-гігієнічного паперу із застосуванням хімічних добавок приділяється дуже велика увага. Так, наприклад, використання смоли Kumepe 25 X-Cel для підвищення механічної міцності паперу у сухому та вологому станах, при додаванні смоли у композиції паперу є 0,6–0,8 % від а.с.в. дозволяє збільшити вологостійкість паперу на 9,3 - 9,6% [3].



1 - Ультрапез 200; 2 - Fennostrength PA21; 3 - Kymene 25X-Cel; 4 - Eka WS 325; 5 - Luresin KS

Рисунок 1.1 - Залежність швидкості зневоднення волокнистої маси із макулатури марки МС-5Б-2 від витрат АПС за температури 10 °С і ступеня млива 45 °ШР (а), 50 °ШР (б) і 55 °ШР (в) [3].

Із даних на рис. 1.1 видно, що подальше збільшення витрат АПС до 10 кг/т призводить до підвищення швидкості зневоднення на 46,6 % за ступеня млива

маси 50 °ШР і на 55,5% за ступеня млива 55 °ШР навіть при використанні АПС Luresin KS, дана АПС має найменшу кількість азетидинових груп [3].

Використання хімічного агенту FennoStrength дозволило зменшити на 15% грамотність листа та 14%, зниження витрати смоли, ефективність обладнання зросла з 21 до 60% [4].

Використання у виробництві хімічної речовини FennoBond 85E дозволяє збільшити розятгування волокна 40% [4]. На рис. 1.2 показано вплив FennoBond 85E збільшення швидкості машини.

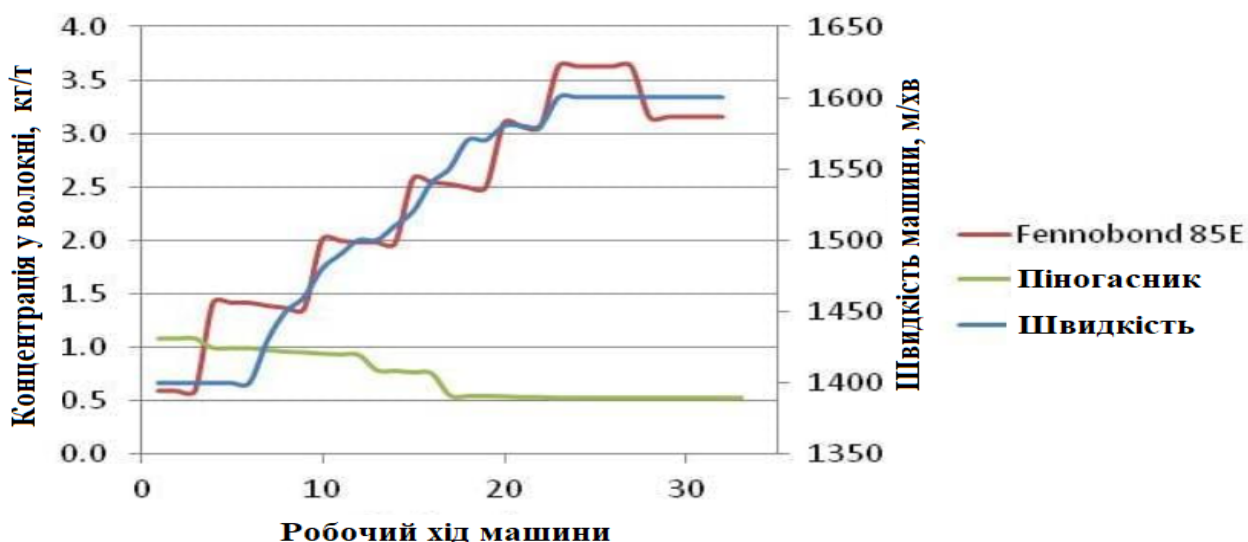


Рисунок. 1.2 - Вплив FennoBond 85E на підвищення швидкості машини, м/хв

Більш ефективне використання FennoBond 85E призвело до зменшення піноутворення, зменшення використання піногасника на 40% і збільшення швидкості на 14%, як показано на рис. 1.2, додатковим зменшенням коефіцієнта крепу на 3%, рівень виробництва збільшився на 17%. Вплив FennoBond 85E призвів до сукупної економії близько 26 € / т [4].

В наш час в країнах СНД одним із основних вирішенням проблем втрати волокна на сітковому столі є застосування поліамідних смол, які помітно поліпшують зневоднення і утримання дрібного волокна на папероробній машині; підвищує

міцності в сухому стані на 10-30%, регулює прилипаємости паперового полотна до Янкі-циліндру шляхом утворення однорідного покриття на циліндрі [5].

Одним із вирішенням проблем втрат волокна є використання похідних целюлози, а саме карбоксиметилцелюлози у виробництві, яка дозволяє підвищити міцність паперу в сухому стані. Підвищує також до деякої міри і міцність паперу у вологому стані. При додаванні до паперової маси КМЦ з розрахунку 5 кг на 1 т індекс опору продавлювання целюлозного паперу підвищується на 20-25% [5]. Введення невеликих кількостей КМЦ в паперову масу значно покращує смоляну проклейку і робить папір більш гідрофобним. При додаванні до маси 0,3-0,5% КМЦ можна знизити витрату каніфолі на проклейку паперу приблизно на 33% і підвищити його міцність [5].

1.2 Загальна характеристика і сфери використання наноцелюлози

У межах целюлозних фібрил є два дискретні домени: високовпорядковані (кристалічні) та невпорядковані (аморфні) структури. Застосовуючи різні методи, дві часто використовувані форми наноцелюлози - це нанокристали целюлози (НКЦ) та нанофібрили целюлози (НФЦ) - можна відокремити від целюлозного джерела. Третя форма - бактеріальна целюлоза (БНЦ) синтезується деякими грамнегативними видами бактерій і відрізняється від двох інших типів тим, що вона утворюється природним чином [2].

Нанокристалічна целюлоза (НКЦ) - це наномасштабні фібрили з високим співвідношенням сторін; їх ширина варіюється від 2 до 60 нм (довжина становить кілька мікрометрів) і утворюються в результаті укладання целюлозного ланцюга, індукованого водневими зв'язками. Ці наночастинки, що складаються як з кристалічного, так і з аморфного доменів, можуть бути отримані шляхом звільнення фібрил від цілісних пучків мікрофібри за допомогою енергійних процесів

механічної фібриляції. Багато оглядів обговорювали їх виняткові характеристики, такі як біологічна здатність до розкладання, відмінні механічні властивості, велика площа поверхні, невелика вага тощо. Водневі зв'язки між гідроксильними групами спонукають до впорядкованої конформації целюлозних ланцюгів в елементарних фібрилах, що додатково полегшує адгезію з іншими полімерними компонентами, наприклад, з лігніном або білками, утворюючи мережі у водних середовищах. Оскільки для відокремлення накладених волокон необхідне енергоємне механічне подрібнення, різні типи попередньої обробки, такі як лужна, хімічна [6].

Нанопібрильована целюлоза (НФЦ) - це пучок натягнутих целюлозних нановолокон. Целюлозні ланцюги заплутані і гнучкий з великою площею поверхні. Нанопібрилярна целюлоза, целюлозні нановолокна та нанопібрили целюлози - деякі з синонімів НФЦ. На відміну від КНЦ, НФЦ складаються з значні аморфні регіони, з м'якими довгими ланцюгами шириною від десяти до декількох сто нанометрів і довжини за мікронною шкалою. Механічні, хімічні та біологічні підходи були використані для виділення НФК з різних джерел, де застосовуються механічні обробки найчастіше зайняті. Гомогенізація під високим тиском, при відрубубанні та подрібнення деякі з механічних обробок, що використовуються для вилучення целюлозних нановолокна. Хімічна обробка включає обробку лугами, тоді як біологічні підходи використовують ферментативні методи лікування . А поєднання цих методів прийнято багатьма дослідниками для отримання бажаного продукту. Аналогічно КНЦ, основні властивості НФЦ також змінюються відповідно до вихідних джерело матеріалу та конкретний застосовуваний процес видобутку. З усім цим різняться методи лікування, отримані в результаті НФЦ, можуть різко відрізнятися за формою, ступенем фібриляції, морфологія та властивості [6].

Бактеріальна наноцелюлоза (БНЦ) - синтезується із спеціальних бактерій, які утворюють нановолокна з діаметром нанометр та довжиною до

мікрометра. У літературі є кілька оглядів та звітів про дослідження, що описують БНЦ та його структуру та властивості. На відміну від інших джерел целюлози, бактеріальна целюлоза вирощується до нановолокна спеціальними бактеріями, такими як *Acetobacter species*, культивованими в культуральному середовищі. Бактерії виробляють ЮНЦ, синтезуючи целюлозу та накопичуючи пучки мікрофібрил [6].

Існує потенціал застосування наноцелюлози у галузі виробництва паперу та картону. Перспектива додавання наноцелюлози дозволить посилити міцність зв'язку між волокнами, отже, має сильний підсилюючий ефект на паперові матеріали. Використання наноцелюлоз (НЦ) в паперовому виробництві може значно сприяти поліпшенню якості паперу [2]. НЦ представляє ряд переваг, які включають високу площу поверхні, унікальні оптичні властивості, легкий, жорсткість, високу міцність і т.д. Крім того, властиві їм властивості, пов'язані з целюлозою, такі як біорозкладка, відновлення і стійкість, привернули високий інтерес як для дослідників, так і для галузей промисловості. Всі ці аспекти і сумісність НЦ з м'якоттю, роблять НЦ розумним продуктом і потенційним рішенням для багатьох проблем паперової промисловості. В даний час було опубліковано багато успішних результатів про різні застосування НЦ в роботі, в тому числі кілька статей огляду, які аналізують потенційне використання НЦ в цій галузі [2].

Джерело [2] демонструє потенціал використання НЦ в промисловості. Було отримано папір з меншою масою та додаванням НФЦ та перевірено на фізико-механічний показник - міцність на розрив. Аналіз базується на експериментальних даних, які вивчали ефект зменшення маси листів, приготованих з нерафінованої хімічної целюлози з твердих порід деревини з додаванням 10% НФЦ, як показано на рис. 1.3. У паралельному дослідженні автори випробували

вплив різних концентрацій НФЦ на міцність на розтяг 60 г / м^2 листів. Ці результати, позначені кольоровими крапками на рис. 1,3 були додані до вихідної діаграми [2].

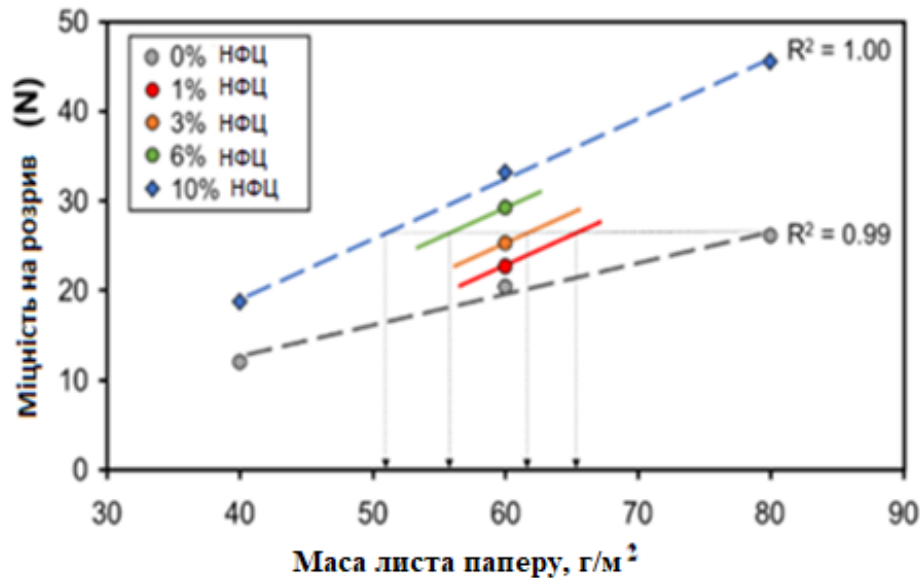


Рисунок 1.3 – Залежність показника міцності на розрив паперу з додаванням наноцелюлози [2]

Для аналізу в якості базового випадку було обрано лист 60 г/м^2 без НФЦ з міцністю на розрив $26,2 \text{ Н}$. Авторами було виявлено сильну лінійну кореляцію між масою та міцністю на розрив з НФЦ та без нього (R^2 дорівнює $1,00$ та $0,99$ відповідно) [2]. Передбачалося, що не існує сильної залежності між швидкістю зміни міцності на розрив на одиницю маси та використанням навантаженням НФЦ. Враховуючи нахил набору даних з 10% НФЦ, межа міцності при розтягуванні екстраполювалась для кожного навантаження НФЦ на аркуші 60 г/м^2 , щоб досягти значення $26,2 \text{ Н}$ [2].

Зниження витрат, зумовлене додаванням НФЦ як для перероблених, так і для первинних волокон. Зменшення маси було розраховано з урахуванням кількості ВНФ, яку можна зменшити для різних концентрацій НФЦ - маси, отриманих з рис. 1.4 зниження вартості оцінювалось як різниця за метричну тонну збереженої сухої маси і доларів США, пов'язаних із додаванням НФЦ, необхідним для досягнення

цільового значення міцності на розрив. Для оцінки чутливості вартості волокна на зниження вартості було обрано дві еталонні вартості (низьку та високу). Ці значення, відповідно 820 і 1100 доларів США за тонну волокна, були взяті з бази даних RISI і відповідають найнижчій та найвищій вартості північного та південного змішаного вибіленого крафт целюлози із твердих порід деревини (Канада / США) у період з грудня 2016 р. до квітня 2018 р. Вартість сухої тонни розглянутих речовин становила 1493 доларів США. Це значення відповідає виробництву МНФЦ, яке розташоване спільно в межах підприємства, що виробляє целюлозу з вибіленої хвойної деревини [2].

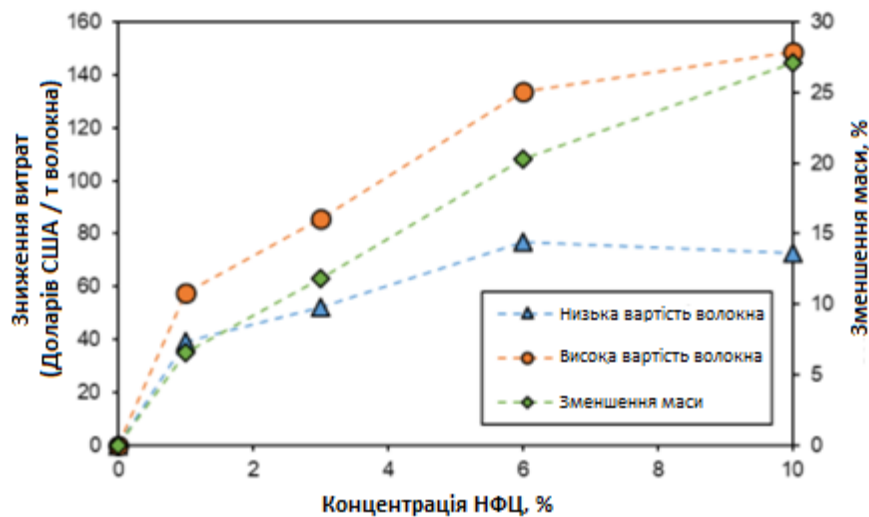


Рисунок 1.4 - Залежність зниження витрати волокна від додаванням НФЦ

Дослідниками виявлено, що вже при додаванні у волокно 1% НЦ сприяють зменшенню витрат волокна. Концентрація НФЦ, що максимізує зниження витрат, залежить від вартості волокна, що використовується для підготовки обробки. Для низької вартості волокна це навантаження становить близько 6%, тоді як для високої вартості волокна не існує максимуму в межах досліджуваного діапазону. Зі збільшенням вартості сировини економія завдяки зменшенню витрат стає вищою. У цьому дослідженні зниження витрат може становити 77 дол. США та 149 дол. США за тонну волокна при низькій та високій вартості волокна відповідно. Більш

дешеві волокна, тобто перероблене волокно, матимуть більш обмежений діапазон експлуатації, перш ніж додавання МНФЦ стане економічно невигідним [2].

Вартість концентрації НФЦ на тонну готової продукції з додаванням наноцелюлози в залежності від вмісту дрібних фракцій у використовуваному НФЦ, зображено на рис. 1.5.

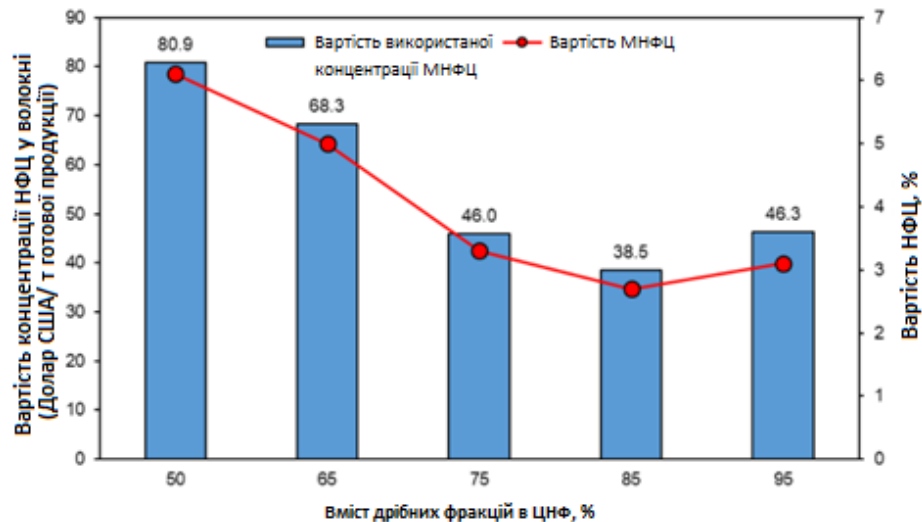


Рисунок 1.5 – Залежність вартості готової продукції від вмісту НФЦ.

Як видно із рис. 1.5, зі збільшенням вмісту дрібних фракцій концентрація НФЦ, необхідного для збільшення індексу розтягу на 10%, зменшується, і після досягнення 75% вмісту дрібних фракцій не спостерігається значної різниці в необхідному навантаженні. Ці нижчі концентрації, що використовуються разом із більш фібрильованим НФЦ (вміст дрібних фракцій > 75%), компенсують високі виробничі витрати. Наприклад, при переході від 50% до 75% дрібних фракцій вартість навантаження НФЦ зменшується приблизно на 43%. На основі проведеної техніко-економічної оцінки можна стверджувати, що рух до наномасштабу є економічно виправданим [2].

З джерела [7] можна побачити зміну фізико-механічних властивостей паперу для друку та газетного паперу з додаванням наноцелюлози. На рис. 1.6 показано поведінку фізичних властивостей товщини та видимої щільності для

паперів з додаванням 0, 5 та 10 % НФЦ. Можна відзначити, що три типи паперу, виготовлені з переробленої целюлози, тонше із збільшеним відсотком додавання нанофібрильованої целюлози. Значення для обробки 0 і 10% НФЦ відповідно становили 165 та 154 мкм для картону, 158 та 134 мкм для друку та паперу для писання та 188 та 167 мкм для газетної паперу. Найвище зменшення товщини спостерігалось у паперів, що належать до обробки, що призвело до зменшення приблизно на 15% порівняно з паперами, обробленими без додавання НФЦ [7].

Очевидна щільність, яка визначається співвідношенням між масою і товщиною паперу, представляла зворотну тенденцію, що зростала із збільшенням кількості НФЦ у паперах. Середні значення щільності варіювались від 0,40 до 0,43 г/см³ для картону, 0,40 до 0,50 г/см³ для паперу для друку та письма та від 0,40 до 0,43 г/см³ для газетного паперу [7].

Папери, виготовлені з вторинної сировини - використаної целюлози газетного паперу, мали найнижчі середні видимі значення щільності. Це можна пояснити наявністю більшої кількості лігніну у клітковині, що забезпечує більшу жорсткість клітинної стінки. Таким чином, менша акомодация волоконних елементів відбувається під час формування паперу, утворюючи менш щільну і пористу структуру, на що вказує більша товщина паперу, виготовленого з переробленого газетного паперу по відношенню до картону, і особливо друкарського паперу [7].

З іншого боку, присутність НФЦ у паперах збільшує взаємодію між целюлозними волокнами та сприяє кращому перегруповуванню, заповнюючи порожні простори між волокнами під час виробництва паперу, та забезпечуючи більш рівномірну та компактну структуру. Це пояснює утворення більш тонких паперів із більшою щільністю для одної і тої ж маси. Щільність пов'язана з діаметром волокон: чим менші розміри волокна, тим краща їх конформація, утворюючи щільніші папери. Збільшення щільності та, як наслідок, зменшення

пористості є важливими, оскільки ці аспекти тісно пов'язані з поліпшенням механічних властивостей. Більша поверхня контакту між сусідніми целюлозними волокнами забезпечує більшу кількість водневих зв'язків, утворюючи більш щільну мережу, що призводить до більшої міцності та жорсткості паперу [7].

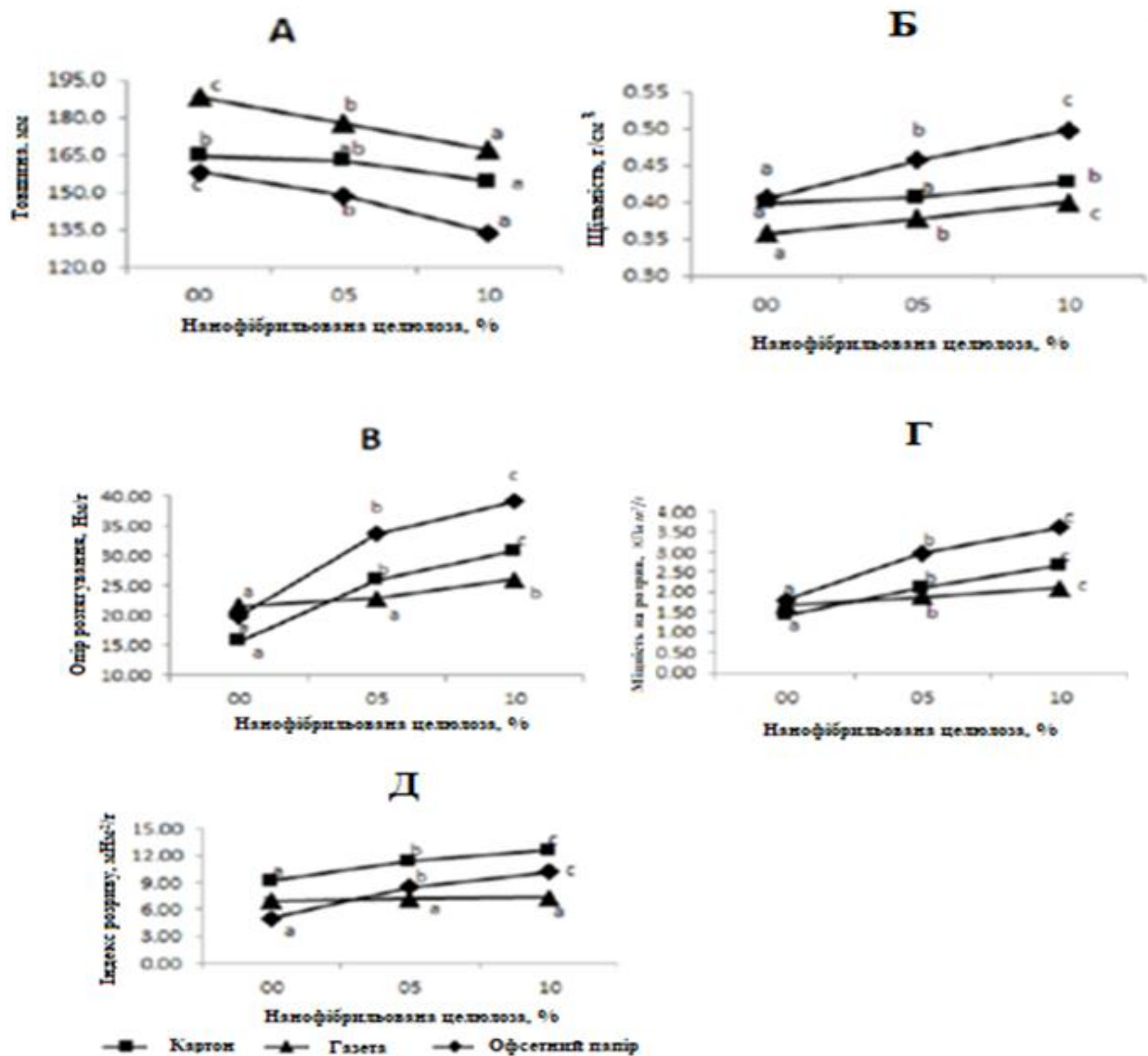


Рисунок 1.6 - Фізичні та механічні властивості переробленого картону, паперу для друку та газетного паперу з додаванням відсотка НФЦ.

На наведених на рис. 1.6 графіках показано, що опір розтягуванню, міцність на розрив відносно відсотка НФЦ. Можна помітити, що механічні властивості паперу для трьох типів з целюлози мають значний вигреш після додавання НФЦ, ефект, який посилюється із збільшенням відсотка НФЦ [7].

Показник розтягування збільшився приблизно на 97% з додаванням 10% НФЦ до переробленого картону. Значення переходили від 15,66 до 30,83 Нм.г⁻¹ і статистично відрізнялись одне від одного. Індекси розриву та розрив досягли значень 2,65 КПа².г⁻¹ та 12,56 мН².г⁻¹ відповідно, що відповідає збільшенню резистентності на 133% та 38%. Автори повідомляють про збільшення міцності на розрив на 15% за рахунок додавання 3 мас.% ЦНФ із залишків сосни у перероблений папір [7].

Перероблений друкарський та письмовий папір також виділявся високими середніми показниками розтягування та розриву. Крім того, механічні властивості також покращились значно помітніше, ніж зразки паперу, виготовлені з переробленого картону та газетного паперу. За наявності 10% НФЦ у роботах, показники збільшення склали 96, 101 та 104% для індексів розтягування, розриву та розриву відповідно. Значення варіювали від 19,93 до 39,00 Нм.г⁻¹ для показника розтягу; Від 1,80 до 3,61 КПа².г⁻¹ для індексу вибуху та від 5,00 до 10,22 мН².г⁻¹ для індексу розриву [7].

Папери, виготовлені з переробленої целюлозної газетної папери, мали менші поліпшення механічних властивостей із додаванням НФЦ. Опір розтягуванню, міцність на розрив збільшилися відповідно на 20, 26 та 5%, додавши 10% НФЦ щодо обробки [7].

Целюлоза газетної паперу, отримана механічним процесом, містить більш жорсткі волокна через наявність великої кількості лігніну (Каппа = 134,3). Отже, вони менш гідратовані через гідрофобну природу лігніну та менший вплив гідроксильних груп целюлози, зменшуючи можливість міжволокнистих зв'язків

між волокном та нанofібрилами [7]. З іншого боку, волокна з нижчим рівнем лігніну, як у випадку з переробленим папером для друку, є більш гнучкими, що забезпечує більшу поверхню контакту та збільшує зв'язки між волокнами та нанofібрилами, сприяючи збільшенню щільності та механічні властивості. Таким чином, можливим поясненням менших виграшів у стійкості властивостей паперу, виготовленого з переробленої газетної паперу з додаванням НФЦ, у порівнянні з картоном та папером для друку та написання, може бути слабший зв'язок між целюлозними волокнами та нанofібрилами та можливий втрата нанofібрильованої целюлози через меншу взаємодію між волокнистими елементами. Крім того, погіршення якості з точки зору фізичної та механічної стійкості волокон, отриманих в результаті механічної обробки, і втрата геміцелюлози під час відштовхування зменшують потенційні зв'язки волокон [7].

1.3 Іновації, що пропонуються ввести в існуючу технологічну схему виробництва санітарно-гігієнічного паперу

Додавання наноцелюлози у целюлозу. Високі виробничі витрати, пов'язані із зростанням цін на волокно, тому для економії коштів за рахунок зменшення вмісту волокна в паперових виробах пропонується додавати декілька вагових відсотків наноцелюлози до полімерної матриці целюлози, яка може покращити механічні властивості матеріалу порівняно з чистою целюлозою.

Впровадження двох потоків для лисяної та хвойної целюлози. Пропонується впровадити два потоки підготовки маси. Це дозволить зробити краще розмелювання на дискових млинах. Для хвойної целюлози цей процес здійснюється в чотири ступеня, а для лисяної – в три. Після гідророзбивача ступінь млива маси становить 17 ° ШР, концентрація маси, що надходить на розмелювання, становить 3,5 %. Приріст ступеня млива на кожному млині становить ≈ 8 ° ШР для хвойної

целюлози та ≈ 10 °ШР – для листяної і після розмелювання досягає для хвойної целюлози 30 °ШР, а для листяної 24 °ШР.

Плоскосітковий формувальний пристрій. В існуючій технологічній схемі при відливі паперу формування паперового полотна здійснюється на циліндрах, обтягнутих сіткою і які перебувають у ванні або без ванни, куди подається паперова маса. У машині напірний ящик і сіткова частина виконані в одному компактному вузлі, а зневоднювання здійснюється за допомогою камери, що відсмоктує, розташованої усередині обертового вала (рис. 1.7). Швидкість таких машин до 1500 м/хв [5]. З метою збільшення продуктивності і поліпшення якості виготовлення продукції, передбачається замінити круглосітковий вакуум-формер на плоскосітковий формувальний пристрій (рис. 1.7). Формувальні пристрої - це найбільш поширені сіткові столи в усьому світі. На таких машинах виробляють писальні види паперу, газетний папір, папір для упаковки продуктів на автоматах, великий асортимент технічних видів паперу, в тому числі виготовляють папір з синтетичних видів сировини.



Рис. 1.7 – Формувальний пристрій папероробної машини.

Машини такого типу мають наступні переваги [5]:

- високу швидкість (до 1200 м / хв);
- велику обрізну ширину (до 10 м) та, завдяки цьому, високу продуктивність.
- машини зручні в керуванні.

Подальше підвищення ефективності машин для виробництва паперу пов'язане зі зміною технології виробництва паперу, удосконаленням конструкції машини і окремих вузлів, збільшенням продуктивності за рахунок швидкості та ширини. Різке збільшення швидкості й ширини машини забезпечать: потокорозподільвачі й напірні ящики закритого типу, що дозволяють випускати масу на сітку зі швидкістю, що відповідає збільшеній швидкості руху сітки; реєстрові валики жолобчастого й сітчастого типу, гідропланки, двох- і трикамерні гауч-вали, що відсмоктують, і інтенсифікують зневоднювання. Тому у даний час на багатьох високопродуктивних машинах після трьох-п'яти відсмоктувальних ящиків зазвичай установлюють відсмоктувальний ящик типу Ротобельт (рис. 1.8), який також пропонується встановити на сітковий стіл машини.

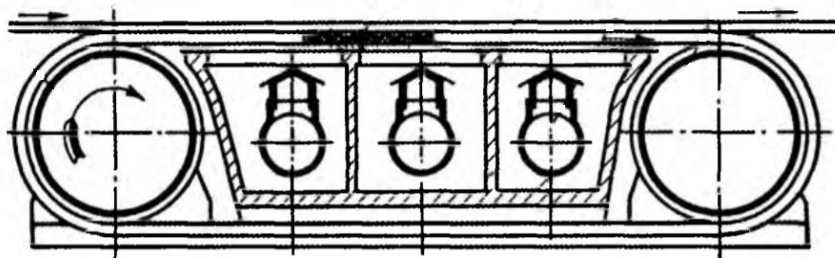


Рис. 1.8 – Відсмоктувальні ящики типу Ротобельт Евенс.

У цій конструкції тертя сітки об поверхню ящиків повністю виключається, в результаті чого термін служби сітки збільшується майже вдвічі і знижується витрата енергії для приводу сітки на 30-50%. Стрічка з неопрена працює понад рік [1, 5]. Відсмоктувальний ящик цієї конструкції розділений подовжніми перегородками на 3 відділення, у яких підтримується різний вакуум. У даному випадку сітка рухається над відсмоктувальними камерами ящика на перфорованому гумовому полотні, натягнутому між двома валиками, що приводяться до руху сіткою, тому основне зусилля від тертя випробує не сітка, а міцне армоване гумове полотно. Для видалення води з відсмоктувальних ящиків їх під'єднують через

гідрозатвори до водовіддільників і вакуумних колекторів машини. Вакуум у кожному водовіддільнику встановлюють автономною і регулюють автоматично [1]. Така система ящиків в даний час застосовується і на швидкохідних машинах, що працюють на швидкості 500 м /хв і вище [5].

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вимоги до сировини та готової продукції

Показники якості санітарно-гігієнічного паперу повинні задовільняти вимоги ТУ 17.1-05509659-033:2013 (змiна №1) за 26.10.2020 [8]. Папір для виробів санітарно-гігієнічного (СГ) призначення одношаровий (табл. 2.1), не вологоміцний марки СГ призначений для виготовлення рулончиків туалетного паперу.

Папір марки СГ одношаровий, не вологоміцний, незабарвлений позначається символом 06 призначений для виготовлення рулончиків туалетного паперу. В разі виготовлення забарвленого паперу використовується літера, яка позначає колір паперу (СГ-15-1Н06). Вологоміцність паперу не повинна перевищувати 6%. Папір виробляється з первинної сировини (целюлози), з одним або кількома шарами (2-х, 3-ох шаровий). Вологість готової продукції має становити 4,6-8% від маси абсолютно сухого волокна, оптична білість готового продукту без додавання оптичного вибілювача має бути не менше 80%, з додаванням оптичного вибілювача білість продукту має становити не менше 90% в порівнянні з BaSO_4 ,

Маса	Ступінь крепування	Руйнівне зусилля у сухому стані (ширина смужки 15 мм)		Руйнівне зусилля у вологовому стані для вологоміцного паперу (ширина смужки 15 мм)	Капілярне поглинання
		В машинному напрямі	В поперечному напрямі		
г/м ³	%, не менше	Н, не менше		Н, не менше	Мм, не менше
45,0±5	5	4,5	3,2	0,4	22

Смола поліамідна, модифікована епіхлоргідрином, марки Водамін-115 використовується у виробництві спеціальних гатунків паперу, паперу для покриття, паперу електротехнічного призначення, фотопідкладок, паперів для пакування жировмістних продуктів, хлібопекарських пресованих дріжджів, маргарину, дорожнього цукру-рафінаду, картону опорного для фільтрування пива /марка ОК/, картону опорного для фільтрувального безалкогольних напоїв /марка ТК/, картону освітлювального для фільтрації шампанських вин. Смола Водамін – 115 – це водний розчин термореактивної поліамідної смоли, модифікованої епіхлоргідрином, яка забезпечує паперу вологоміцність. Смола Водамін – 115 має відповідати вимогам ТУ У 6-00209355. 081-2001 (табл. 2.2)

Таблиця 2.2- Фізико-хімічні показники смоли Водамін – 115

Найменування показника	Норма	Метод аналізу
1.Зовнішній вигляд	Прозора світло-жовта рідина	за 5.1
2.Масова частка нелетких речовин /сухого залишку/, %	14,0-16,0	за 5.2
3.Масова частка азоту/з перерахуванням на сухий залишок/,% : - за мікрометодом - за методом Кельдаля	12,0-16,0 11,5-14,0	за 5.3
4.Динамічна в'язкість при /25,0 ± 0,1/°С, мПа·с	6 - 25	за 5.4
5.Реакція середовища, рН	3,5 – 5,5	за 5.5

Целюлоза сульфатна вибілена з хвойної деревини виготовляється згідно з вимогами стандарту ГОСТ 9571 [9]. За показниками якості має виготовлятися з марки ХБ-4 - для санітарно-гігієнічного призначення. Целюлоза з хвойних порід деревини має такі основні фізико-механічні показники:

- Розрізна довжина, км – 7,4;
- Кількість подвійних перегинів – 700;
- Білість, % – 87;
- Вологість, % – 20;

Целюлоза сульфатна вибілена з суміші листяних порід деревини виготовляється відповідно стандарту ГОСТ 28172 [10]. За показниками якості має виготовлятися з марки ЛС-3 - для санітарно-битового та гігієнічного призначення. Целюлоза з листяних порід деревини має такі основні фізико-механічні показники:

- Розрізна довжина, км – 7,0;
- опір роздиранню, гс – 46;
- Білість, % – 82;
- Вологість, % – 20;

3. ОДЕРЖАННЯ ОРГАНСОЛЬВЕНТНОЇ ЦЕЛЮЛОЗИ ІЗ СТЕБЕЛ ПШЕНИЧНОЇ СОЛОМИ

Для проведення досліджень використовували пшеничну солому із Київської області. Після сортування і подрібнення стебел пшеничної соломи на січку довжиною 5-15 мм проводили її термохімічну обробку. Варіння целюлози проводили сумішшю оцтової кислоти і пероксиду водню за співвідношення 70 : 30 об'ємних в скляних колбах за температури 98 ± 2 °C і гідромодуля 10:1. В табл. 2.3 показано хімічний склад рослинних сировини хвойних і листяних порід деревини та пшеничної соломи. З даних табл. 2.1. видно, що хімічний склад стебла пшеничної соломи схожий зі складом деревини, тому її можна розглядати як сировину для виробництва целюлози.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад рослинної сировини [11]

Сировина	Целю- лоза, %	Лігнін , %	Речови- ни розчин- ні у H ₂ O, %	Речови- ни розчинні у NaOH, %	СЖВ, %	Пенто- зани, %	Золь- ність, %
Пшенична соломи	46,2	18,6	6,0	36,2	4,59	26,4	4,18
Хвойна деревина	50	27...28	2,3...2,9	3,2...4,9	1...2	10...11	0,3
Листяна деревина	50	21	2,2	11,2	1...2	28,0	0,3

Варіння целюлози проводили перексокислотним способом делігніфікації, з використанням суміші CH_3COOH і H_2O_2 , концентрація варильного розчину складається: оцтова кислота - 70%, пероксиду водню – 30%, гідромодуль варіння складав 10:1. У 4 колби було взято по 20 г соломи, які варили протягом 0,5; 1; 1,5; 2 годин за температури 95...97 °С. Такі значення технологічних параметрів процесу делігніфікації рослинної сировини взяті на основі проведених співробітниками кафедри попередніх досліджень [12].

На рис. 2.1-2.3 наведено як змінюється вихід ВНФ, вміст лігніну та зольність від тривалості перексокислотного способу делігніфікації.

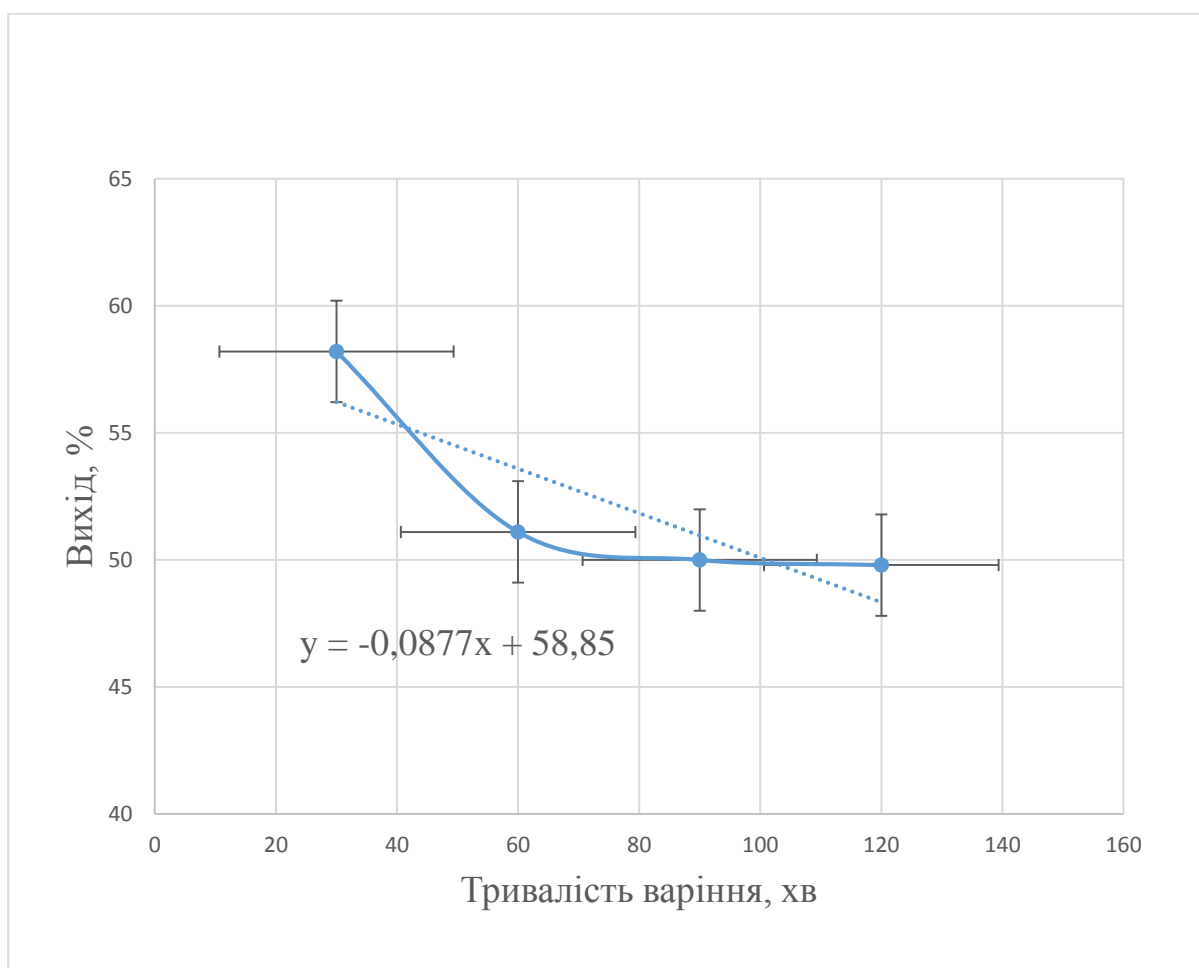


Рисунок 2.1 – Залежність виходу ВНФ із пшеничної соломи від тривалості варіння.

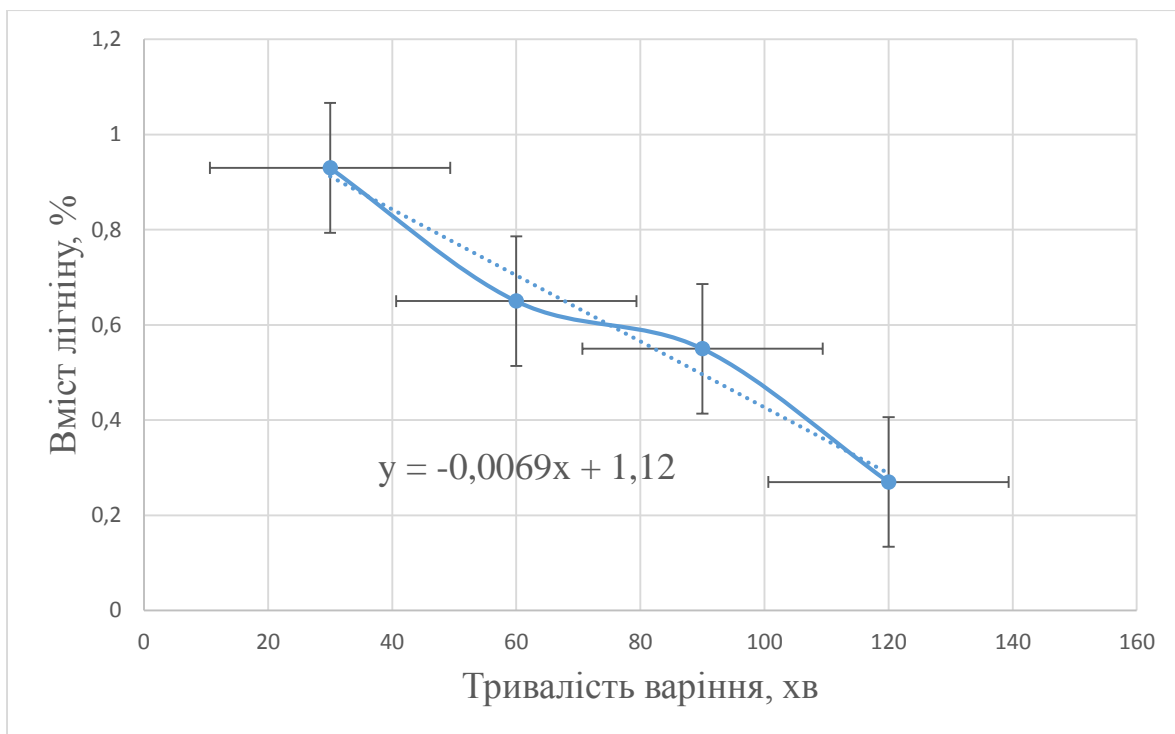


Рисунок 2.2 – Залежність вмісту лігніну від тривалості варіння.

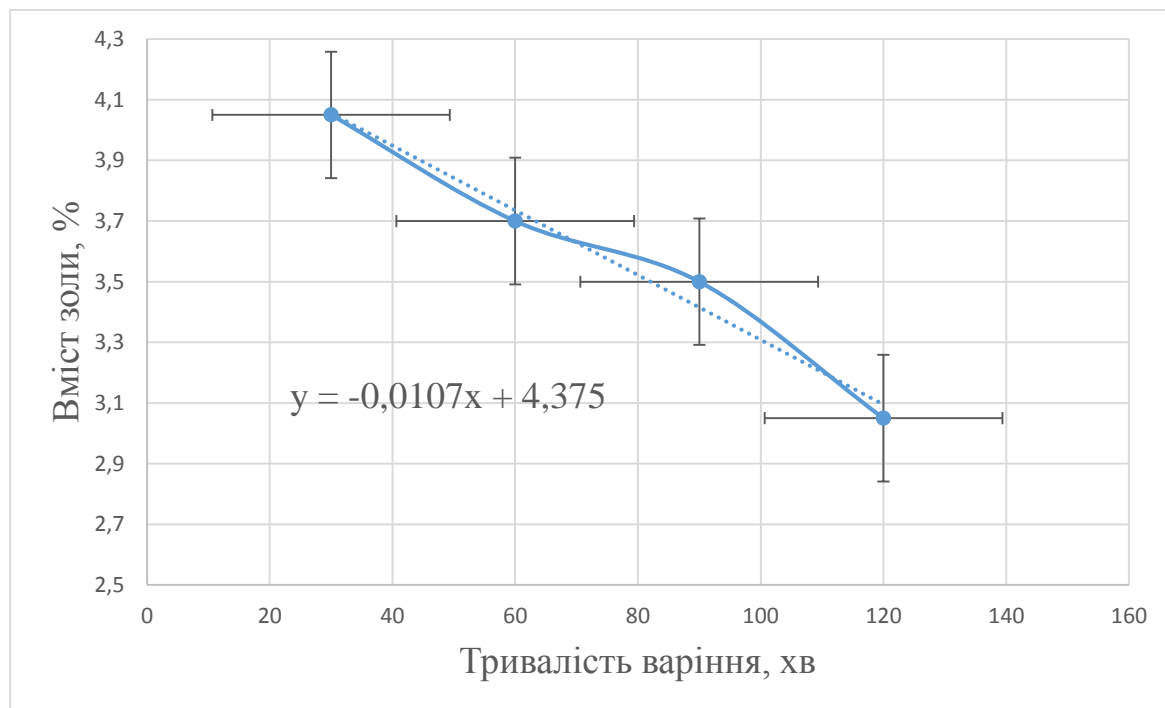


Рисунок 2.3 – Залежність вмісту золи у від тривалості варіння .

Як видно з даних, наведених на рис. 2.1 – 2.3, збільшення тривалості варіння закономірно призводить до зменшення виходу целюлози та залишкового вмісту в ній лігніну і мінеральних речовин, що пояснюється інтенсифікацією процесу делігніфікації рослинної сировини із тривалістю варіння. Після процесу делігніфікації проводили процес облагородження целюлози. Облагородження целюлози проводили дію розчину NaOH концентрацією 7 % за гідромодуля 10:1 при температурі 95°C протягом 1 години. У результаті лужної обробки отримана целюлоза з виходом 48,7 %, із залишковим вмістом лігніну 0,1 % і мінеральних речовин 0,4 % від маси а.с.с. Із отриманих даних видно, що лужна обробка призводить до зменшення залишкового вмісту лігніну і мінеральних речовин, що підтверджено іншими джерелами [13, 14, 15]. Так, наприклад, Нєпеніном М.М. [13] встановлено, що підвищення концентрації розчину гідроксиду калію і тривалості стадії лужної екстракції значно зменшує вміст мінеральних речовин у волокнах пшеничної соломи. Для отримання наноцелюлози проводили гідроліз органосольвентної целюлози розчином сульфатної кислоти концентрацією 43 %, за температури 60 °C впродовж 60 хвилин за гідромодуля 10:1. Такі параметри проведення процесу гідролізу взяті на основі проведених раніше досліджень [14 – 16]. Для отримання однорідної гелеподібної суспензії наноцеллюлози проводили її ультразвукову обробку протягом 30 - 60 хв з використанням ультразвукового дезінтегратора UZDN-A. Для спостереження змін морфології рослинної сировини, органосольвентної целюлози, целюлози після лужної обробки та наноцеллюлози використовували скануючий електронний мікроскоп РЕМ-106І. Аліквоти наноцеллюлозної суспензії поміщали в чашки Петрі для отримання плівок, які досліджували на щільність і міцність на розрив.

Результати СЕМ підтверджують трансформацію волокон стебла пшениці із зменшенням їх розмірів в процесі їх хімічної і термічної обробки.

Зміна морфологічної структури волокон пшеничної соломи у процесі її термохімічного оброблення наведена на рис. 2.4 -2.6, отриманих скануючою електронною мікроскопією (СЕМ).

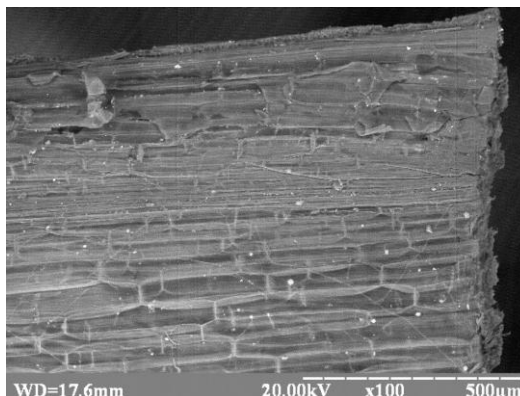


Рис. 2.4 – СЕМ фото стебла пшеничної соломи.

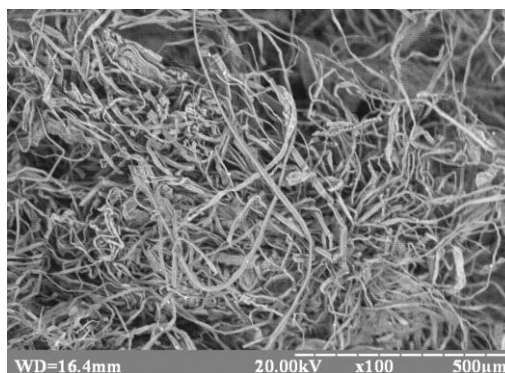


Рис. 2.5 – СЕМ фото органосольвентної целюлози із пшеничної соломи.

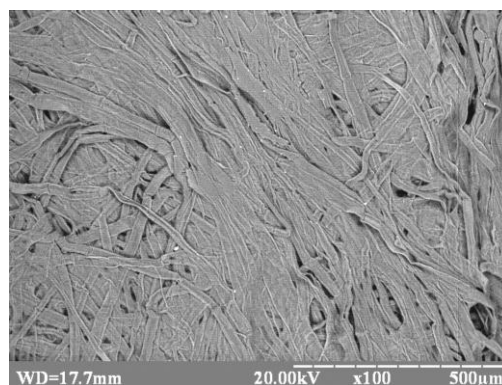


Рис. 2.6 – СЕМ фото органосольвентної целюлози із пшеничної соломи після додаткової лужної обробки.

4. ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ГІДРОЛІЗУ ТА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ НА ПОКАЗНИКИ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ

Процес отримання наноцелюлози полягав у обробці органосольвентної пшеничної целюлози розчином сульфатної кислоти концентрації 43% [14-16].

Після проведення гідролізу отриману наноцелюлозу обробляли дією ультразвуку за різної тривалості обробки. З отриманих суспензій виготовляли прозорі наноцелюлозні відливки для дослідження їх характеристик. Отримана наноцелюлоза мала вигляд стабільної колоїдної суспензії. На рис. 2.7 та 2.8 наведено результати міцності на розрив та щільності зразків наноцелюлози, відповідно, отриманих за різних умов ультразвукової обробки. На рис. 2.7 наведена залежність міцності на розрив зразків наноцелюлози, отриманих за температури 40°C від тривалості гідролізу та ультразвукової обробки.

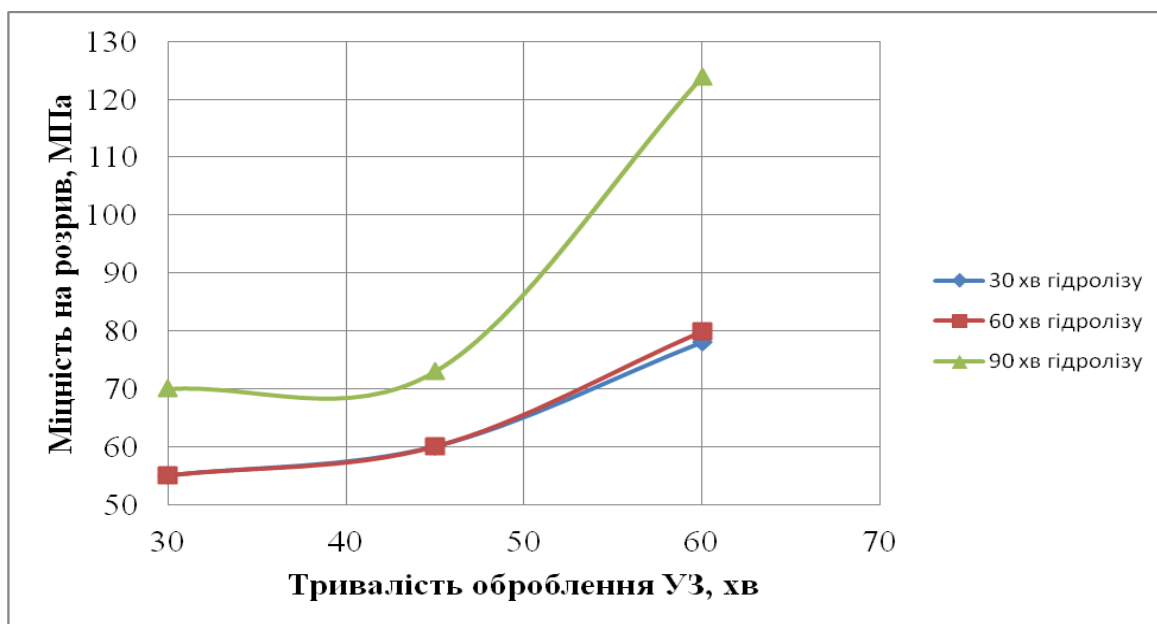


Рисунок 2.7 – Залежність міцності на розрив зразків наноцелюлози, отриманих за різної від тривалості УЗ обробки.

Як видно з даних рис. 2.7, вищу міцність на розрив мають зразки, отримані за умов гідролізу сільфатною кислотою з концентрацією 43 %, впродовж 90 хв, та після УЗ обробки 60 хв. За даних умов можливо отримати nanoцелюлозну плівку з міцністю до 120 МПа. Такі значення міцності відповідають даним, які отримано раніше для nanoцелюлози із іншої недревної рослинної сировини [14-16].

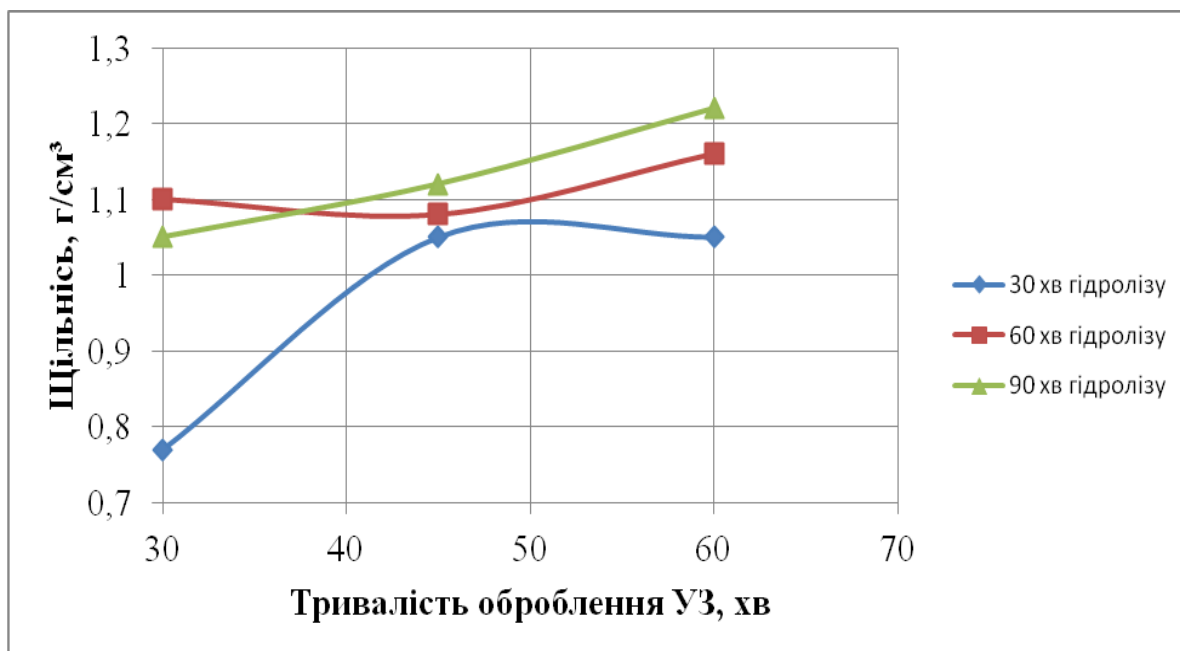


Рисунок 2.8 – Залежність щільності зразків nanoцелюлози, отриманих за різної тривалості оброблення за температури 40 °C, від тривалості УЗ обробки.

Як видно із даних рис. 2.8, щільність отриманих зразків nanoцелюлозних плівок знаходиться в межах від 0,75 г/см³ до 1,25 г/см³. Висока щільність зразків зумовлена утворенням непористої щільно упакованої структури та утворення міцної мережі nanoцелюлози. Такі значення щільності nanoцелюлозних плівок відповідають даним, які отримано раніше для nanoцелюлози із іншої недревної рослинної сировини [15].

При дії ультразвуку високої інтенсивності на суспензію nanoцелюлози відбувається кавітація, що призводить до розривання молекул в результаті тиску,

що створюється. При взаємодії ультразвуку із частинками целюлози вони розриваються на мікро- та наночастинки. Під час такого оброблення сильно підвищується температура, яка може досягати 90 °C, тому суспензію необхідно охолоджувати. Наночастинки целюлози здатні пропускати світло в видимій області спектру, що робить їх прозорими. Гелеподібний стан і прозорість наноцелюлози зберігається впродовж декількох місяців, як це було показано раніше у роботі [14].

5 ВПЛИВ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ПОКАЗНИКИ САНИТАРНО-ГІГІЄНИЧНОГО ПАПЕРУ

Для проведення експерименту було приготовано волокнисту масу для відливок з композицією 30 % хвойної целюлози та 70 % листяної целюлози. В ході відливання було додано до відливок наноцелюлози з витратами 1%; 3%; та 5% від маси відливки. Також було зроблено відливки без додавання в масу проклеюючих речовин та з додаванням Водамін-115:

Отримані зразки паперу масою 45 г/м² перевіряли на технічні умови санітарно-гігієнічного паперу - розривне зусилля, капілярну вбирність, значення яких показано на рис. 2.9 і 2.10.



Рисунок 2.9 - Залежність розривного зусилля паперу від витрати наноцелюлози від маси паперу (червона лінія – вимоги стандарту [8]).

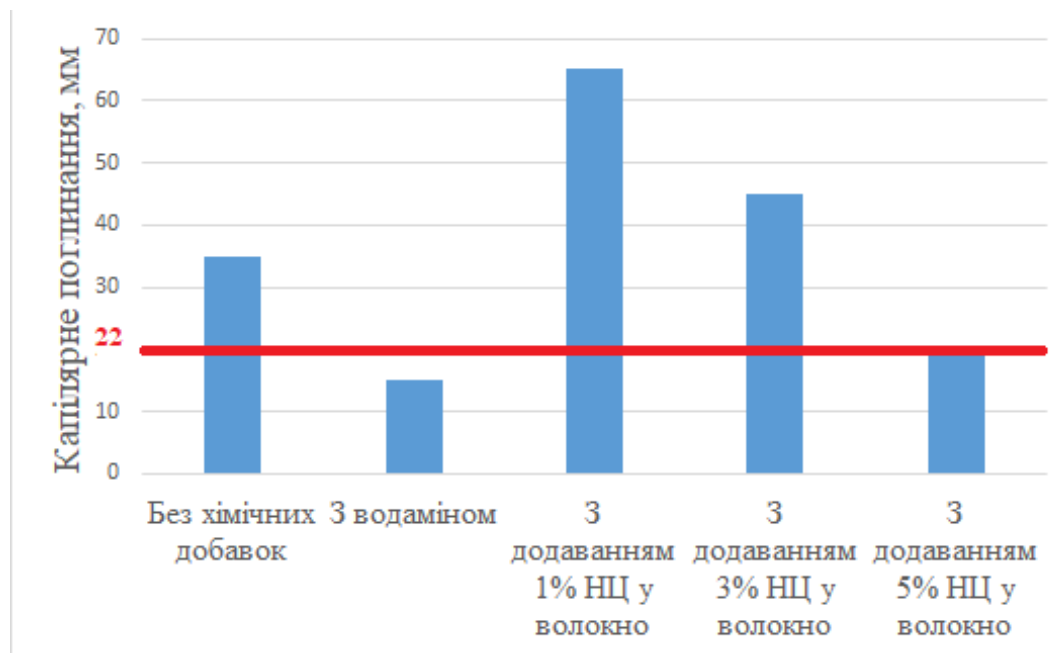


Рисунок 2.10 – Залежність капілярного поглинання паперу від доданої кількості наноцелюлози у масу (червона лінія – вимоги стандарту [8]).

З даних рис. 2.9-2.10 можна зробити висновок про те, що показники санітарного-гігієнічного паперу з додаванням наноцелюлози у целюлозну масу в порівнянні зі зразком паперу без додавання хімічних речовин мають кращі показники за витрат 3% наноцелюлози від маси паперу. Показник розривного зусилля збільшився на 11%, капілярна вбирність стала краща, і за один и той самий час піднялася на 10 мм. Тому в даній магістерській дисертації пропонується виробництво санітарно-гігієнічного паперу з додаванням 3% наноцелюлози в целюлозну масу, що забезпечить виконання вимог стандарту [8].

6 РЕКОМЕНДОВАНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНОГО ПАПЕРУ

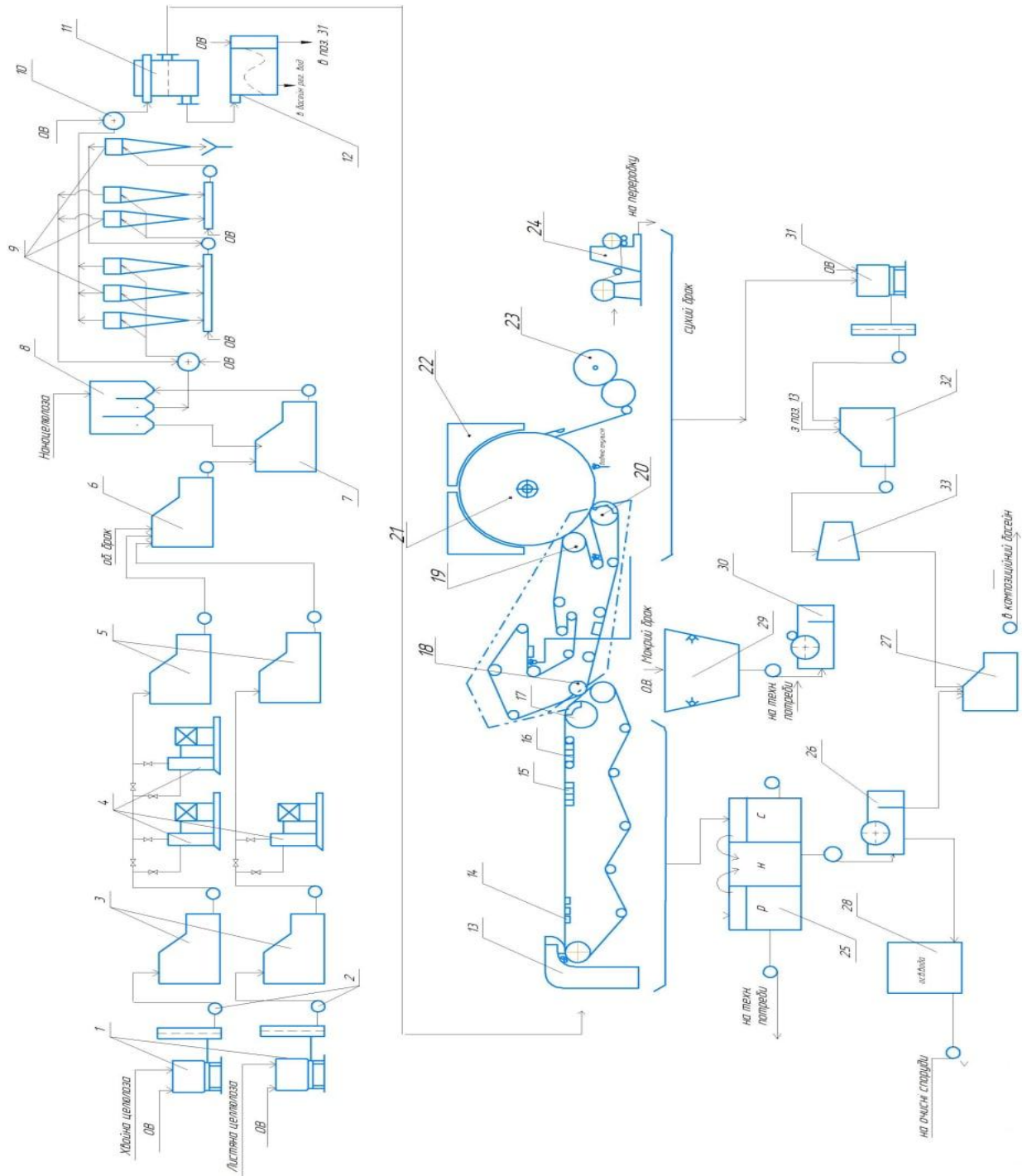


Рисунок 2.14 - Технологічна схема виробництва санітарно-гігієнічного паперу.

6.1 Опис технологічної схеми виробництва санітарно-гігієнічного паперу

Хвойна і листяна целюлоза окремими потоками з складу сировини подається у масо-підготовчий відділ, де її звільняють від дротів і подають у ГРВ(1а), (1б) відповідно для розпуску окремими потоками. Також у ГРВ подається обігова вода. Розволокнена маса із гідророзбивачів центробіжними насосами (2) поступає в приймальні басейни (3) з циркуляційним пристроєм, де відбувається акумулювання маси перед її розмелюванням. Розмелювання маси здійснюється на дискових млинах (4).

Для хвойної целюлози цей процес здійснюється в два ступеня, а для листяної – в один. Концентрація маси, що надходить на розмелювання становить 3,5 %. Приріст ступеня млива на кожному млині становить $\approx 8^{\circ}$ ШР для хвойної целюлози та $\approx 10^{\circ}$ ШР – для листяної і після розмелювання досягає листяної 24° ШР, а для хвойної 30° ШР. Розмелена маса акумулюється в басейнах розмеленої маси (5), звідки за допомогою центробіжного насоса поступає в композиційний басейн (6) і на машинний басейн (7). В композиційний басейн (6) надходить обіговий брак. Після маса поступає в бак постійного рівня (8). Для забезпечення очищення маси перед папероробною машиною, для кращого формування паперового полотна, здійснюється розбавлення маси обіговою водою до концентрації 0,7304 % та додавання 3% наноцелюлози.

Перед відливом паперу, розведена маса завжди піддається очищенню, з метою видалення забруднень, що виникли в процесі підготовки паперового волокна, вузлів, пучків волокон, згустків, шматочків бруду та слизу, а також інших включень. Внаслідок цього із змішувального насосу №2 маса з концентрацією 0,7304 % подається на перший ступінь очищення цинтреклинерів (9) під тиском 300 кПа. Очищення маси в ньому відбувається під дією центробіжних

сил, що виникають у вихрових потоках. Відходи з першого ступеня збираються у закритому колекторі (жолобі), і розбавляються обіговою водою до концентрації 1,2 %, і подаються на другий ступінь очищення. Очищена маса з другого ступеня подається на повторне очищення на перший ступінь. Відходи другого ступеня збираються у жолобі (№2), та надходять на третій ступінь очищення. Відходи третього ступеня направляють у відвал, а очищена маса – на повторне очищення на другий ступінь. Після центриклинерів маса з концентрацією 0,7% подається на змішувальний насос №1 (10) де розбавлюється до концентрації 0,515% і надходить на вузлоуловлювач закритого типу (11), який видаляє з маси частинки, котрі мають більший розмір ніж розміри окремих розмелених волокон. Маса подається у верхню частину вузловловлювача, через тангенціально розміщений штуцер під тиском. Під дією відцентрової сили важкі включення відкидаються до зовнішньої сітки корпусу, опускаються вниз в жолоб важких відходів. Очищена маса, під дією напору та лопатей ротора проходить через отвори сит і вивантажується із апарата через загальний штуцер. Відходи, які не відсотувалися через сито, опускаються вниз та видаляються через спеціальний штуцер і поступають на плоску вібраційну сортувалку (12). Відокремлене на сортувалці волокно разом з водою, направляються у збірник реєстрових вод.

Очищена та відсортована маса за концентрації 0,5 % подається в напірний ящик закритого типу (13), а потім на сітку ПРМ. Для рівномірного розподілу маси напочатку сіткового столу, регулювання процесу зневоднення полотна, після грудного валу встановлена формувальна дошка, гідропланки (14), відсмоктувальні ящики (15) та відсмоктувальні ящики типу Ротабельт (16). Сире паперове полотно, отримане в сітковій частині машини, має сухість 12%. За допомогою вакуум-пересмоктуючого пристрою (16) полотно поступає з сіткової частини машини на сукно. Перед подачою на гауч -вал, паперове полотно додатково зневоднюється за допомогою відсмоктувачів (17), які працюють під вакуумом. Після гауч-валу (18), з

концентрацією 20 %, паперове полотно поступає на прес з глухими отворами (19), де зневоднюється до сухості 45 %.

Після пресової частини паперове полотно надходить у сушильну частину ПРМ, де відбувається остаточне видалення води з полотна до потрібної вологості. Вид сушіння – контактно-конвективний, за допомогою пари, яка подається в середину сушильних циліндрів. Процес сушіння паперу здійснюється на сушильному циліндрі, який ще називають «Янкі-циліндр» або лощильний циліндр (20), діаметром 4500мм. Передача паперу з пресової частини на «Янкі-циліндр» відбувається за допомогою гауч-валу. Вологе полотно паперу «прилипає» до поверхні циліндра, температура якого становить 130-150°C. Нагрівання циліндра відбувається за рахунок насиченої пари. Температура пари – 191°C, тиск – 12 кг/см². Для інтенсифікації процесу сушіння та покращання його економічних показників над циліндром змонтовано ковпак швидкісного сушіння (21), під який подається гаряче повітря за температури 140 °C. Пароводяна суміш забирається вентиляторами та видаляється в атмосферу. Сушіння повинне забезпечувати рівномірну вологість паперу за шириною полотна. Сухість паперового полотна становить 96 %.

На янкі-циліндрі встановлено три шабери: крепувальний, знімальний і очищувальний, після очищувального шабера, встановлено осцилюючий сприск для регулювання адгезії на циліндрі. Далі папір надходить на папероведучий вал, який має привід, а надалі намотується на накат (22) в рулон.

Перероблення обігового браку. Мокрий брак концентрацією приблизно 0,8% із гауч-мішалки (23), безперервно подається на згущувач (25), а потім в басейн обігового браку (25). У цей же басейн надходить маса з гідроразбивача сухого браку (1в) і волокно, уловлене з надлишкової води на дисковому фільтрі (26). З басейну обігового браку маса подається в композиційний басейн (6). Вода з

дискового фільтра (26) надходить у бак прояснених вод (27) і використовується для спорсків сітки. Розрізання та намотування паперу в рулони, обрізання крайок, видалення дефектного паперу в місцях обривів здійснюється на поздовжньо-різальному верстаті (21), бабіно-різальному верстаті (22), а далі на бабіно-пакувальний верстат (24) отриманий продукт подається та на склад готової продукції.

Для розпуску сухого браку, що утворився в процесі сушіння та оброблення паперу, встановлено гідророзбивач (31). Розпуск проходить з використанням обігової води із басейна реєстрових вод, води із згущувача (26) браку. Після розпуску маса подається на пульсаційний млин (3) для дорозпуску і надходить в басейн обігового браку (27), в який також подається згущений мокрий брак і скоп з дискового фільтра (33). З басейну обігового браку подається в композиційний басейн.

7 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Папороробна машина

Марка Б-83 для виготовлення паперу санітарно-гігієнічного призначення
Фірма «Фойт», Петрозаводський завод «Тяжбуммаш»

Технічна характеристика

- обрізна ширина 4250 мм
- робоча швидкість 1100 м/хв
- швидкість по приводу 1200 м/хв.

Виробники фірма «Фойт» (Венгрія) і «Петрозаводскбуммаш».

Розрахунок продуктивності картоноробної машини [1];

$$Q=0,06 \cdot B_0 \cdot V \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2;$$

де 0,06 – коефіцієнт для переведення швидкості за часом (хвилин в години) та маси листа картону в кілограми;

B_0 – обрізна ширина полотна паперу, мм;

V – швидкість машини, м/хв;

g – маса 1 м² полотна, г;

$K_1=0,9$ – коефіцієнт, що враховує холостий хід машини;

$K_2=0,95-0,96$ – коефіцієнт використання максимальної швидкості машини.

Годинна продуктивність [10]:

$$Q_{\text{год}}=0.06 \cdot 4,25 \cdot 1100 \cdot 45 \cdot 0.96 \cdot 0.9 = 10\,905,84 \text{ кг/год}$$

Добова продуктивність становить:

$$Q_d = Q_{\text{год}} \cdot t_d = 10\,905,84 \cdot 22.5/1000 = 245,38 \text{ т/доб}$$

де $t_d=22,5$ – кількість безперервної роботи машини за добу.

Планова річна продуктивність становить:

$$\text{ПП} = Q_d \cdot T_{\text{Еф}} = 245,38 \text{ т/добу} \cdot 345 = 84\,656,1 \text{ тис. т/рік.}$$

Річна потужність ПРМ становитиме близько 84 656,1 тис т/рік

Пресова частина машини складається із:

- вакуум-пересмоктувального валу діаметром – 700 мм;
- першого гарячого пресу діаметром – 1150 мм, двокамерного;
- другого гарячого (вал з глухими отворами) пресу діаметром – 850 мм;
- сукнотягові вали (17) — 12 шт., діаметр валу— 615 мм;
- сукно голкопробивне, довжина — 54500 мм.

Тиск лінійний притискання пресів:

- між першим гарячим валом та лощильним циліндром 700 Н/м (70кг/м)
- між другим гарячим валом та циліндром 900 Н/м (90 кг/м)

Сушильна частина:

Контактно-конвективне сушіння паперу здійснюється на циліндрі діаметром 6000 мм, на якому установлені три шабери: відсікаючий, крепувальний, очищуючий. Крепувальний і відсікаючий шабери мають зворотно-поступальний рух, на них встановлені забірні системи видалення пилу.

Робочий тиск пари – 4 кг/см² .

- Максимальний (допустимий) тиск в сушильному циліндрі 0,8 МПа (8 кгс/см²).

- Температура поверхні циліндра 130-1600С.

Для інтенсифікації процесу сушіння методом високотемпературного конвективного теплообміну над сушильним циліндром установлений ковпак швидкісного сушіння. Діаметр проточних отворів 6-8 мм, швидкість струменів 112 м/сек. Кут захвату циліндра ковпаком складає 236°, обдуваюча довжина циліндру – 12,43 м.

Гідророзбивач листяної целюлози ГРВ-12

Технічна характеристика:

- матеріал:
незабруднені напівфабрикати, макулатура;
- продуктивність, т/добу - 45-120;
- об'єм ванни, м³ - 12;
- потужність електродвигуна, кВт - 200;

Гідророзбивач хвойної целюлози ГРВ-24

Технічна характеристика:

- матеріал:
незабруднені напівфабрикати, макулатура
- продуктивність, т/добу - 75-240;
- об'єм ванни, м³ - 24;
- потужність електродвигуна, кВт: 250;

Дисковий млин для листяної целюлози МД-14

- Продуктивність, т/добу – 20 – 80;
- Діаметр дисків, мм – 630;
- частота обертів ротора, хв⁻¹ – 750;
- установлена потужність, кВт – 160;
- Концентрація маси, що надходить, % – 3 - 3,5;
- Маса, т – 5,5.

Дисковий млин для листяної целюлози МД-2У5

- Продуктивність – 25 - 175 т/добу;
- Діаметр дисків – 800 мм;
- частота обертів ротора, хв⁻¹ – 1000;
- установлена потужність, кВт – 315;
- Концентрація маси, що надходить, % – 3 - 3,5;

- Маса, т – 14.

Бак постійного рівня Кількість:

1, об'єм: 1,5 м³, матеріал: сталь неіржавіюча

Установка вихрових очисників

Установка вихрових конічних очисників УВК–300–01.

Технічна характеристика:

- продуктивність, т/добу - 300;
- пропускна здатність очисника, л/хв - 125;
- діаметр очисника, мм - 80;
- діаметр отворів насадки, мм - 13;
- габаритні розміри, мм - 16,64 x 6,91 x 2,53;
- маса з насосом та двигуном, т - 15,70.

Шаберний згущувач СШ-25-01

Технічна характеристика:

- Продуктивність при роботі, т/добу – 70-90;
- Концентрація волокна, що надходить, % – 0,4-1, згущеного – 5-7;
- Параметри сіткового циліндра, м – діаметр – 2,0, довжина – 4,0;
- площа бічної поверхні, м²– 25;
- частота обертання барабана, хв⁻¹ – 14; 16; 18;
- споживана потужність, кВт – 11;
- габаритні розміри, м – 6,00x3,05x2,56;

8 СТАРТАП-ПРОЕКТ

На сьогоднішній день виробництво паперу санітарно-гігієнічного призначення з целюлози поширений у всьому світі. Для того щоб здешевити витрату на хвойну целюлозу та при цьому не втратити фізико-механічні показники, пропонується додавання в масу наноцелюлози [17].

Зміст ідеї стартап-проекту наведено в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Реконструкція технологічного потоку ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат» з виробництва СГ паперу з додаванням наноцелюлози	Папір санітарно-гігієнічного призначення	1. Санітарно-гігієнічний папір
		2. Санітарно-гігієнічний папір з додаванням наноцелюлози економічно вигідніший.

Після цього було проведено порівняння із пропозиціями конкурентів, — проводився аналіз щодо таких показників як слабкі та сильні сторони, результати аналізу наведено в табл. 8.2.

Технологічний аудит ідеї проекту

Перевіряли на відповідність встановленим критеріям технології, які допоможуть реалізувати ідею проекту (технології виробництва товару). Для цього проаналізували такі чинники (табл. 3.3):

- технологія для виготовлення товару відповідно ідеї проекту?
- наявність таких технологій, необхідність їх створення/доопрацювання?
- доступність таких технологій власникам проекту?

Результати аналізу наведено в табл. 3.3.

Таблиця 8.2 – Визначення сильних, слабких характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	S (сильна сторона)
		Вибірний СГ паперу з додаванням НЦ	Т.П. «Обухів 65»	Т.П. «Панда»	Т.П. «Диво»		
1.	Доступна ціна за продукт з первинної сировини	15 грн	25 грн	30 грн	20 грн	СГ папір з макулатури дешевше	СГ папір зі 100% целюлози дорожчий
2.	Якість паперу така сама як у целюлозного СГ паперу	Згідно стандарту	Згідно стандарту	Згідно стандарту	Згідно стандарту	Не маж постачальника НЦ в Україні, що вплине на більшу ціну товару	СГ папір з додаванням НЦ має вищу фізико-механічну міцність ніж з макулатури

Для аналізу ринкових можливостей запуску стартап-проекту проводилось планування напрямків розвитку проекту. Вдалій реалізації сприяє:

- стан ринкового середовища;
- ринкові можливості та загрози;
- попит серед потенційних клієнтів;
- вивчення конкурентоспроможних проектів

Таблиця 8.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту.

№ п/п		Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Ідея проекту	Технологія 1 (технологія виготовлення товару, надання послуги)	Чи вони наявні, або ж необхідно їх розробити/додати?	Чи вони доступні авторам проекту?
1	Одержання санітарно- гігієнічного паперу з додаванням наноцелюлози в масу	Додаються до діючої схеми напускні пристрої з наноцелюлозою	Такі технології не наявні на інших виробництвах.	Ці технології загально доступні до впровадження у виробництво
Таким чином реалізація проекту є можлива, для впровадження цього проекту доцільно в існуючу технологічну схему.				

Для аналізу ринкових можливостей запуску стартап-проекту проводилось планування напрямків розвитку проекту. Вдалій реалізації сприяє:

- стан ринкового середовища;
- ринкові можливості та загрози;
- попит серед потенційних клієнтів;
- вивчення конкурентоспроможних проектів

Спочатку проводили аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку результати аналізу наведено в табл. 8.4.

Також проаналізували ринкове середовище: і розроблено таблиці чинників, які необхідно врахувати для ринкової реалізації проекту, а також врахували чинники, що можуть цьому завадити. Результати аналізу наведено в табл. 8.5.

Результати аналізу середовища ринку та факторів загроз наведено в табл 8.6

Таблиця 8.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1 підприємство
2	Загальний обсяг продаж, т/рік	20 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ТУ, ДСТУ
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10%

Таблиця 8.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Базова потреба, санітарно-гігієнічні потреби	Потенційними клієнтами являються споживачі, які відрізняються купівельною спроможністю: низька; середня; висока.	Дана продукція більше підходить для цільового сегменту з низькою та середньою купівлеспроможністю.	- до продукції: висока якість, зручний формат, білий колір, приємний зовнішній вигляд, приємлива ціна. - до компанії-постачальника: вчасна поставка

Результати аналізу середовища ринку та факторів загроз наведено в табл 8.6.

Таблиця 8.6 – Фактори загроз Не можна розривати табл - переробіть

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Війна	Закриття фабрики; мобілізація працюючого персоналу	Перерва в роботі підприємства; Зменшення кінцевої продукції, які випускаються
2	Падіння ринку	Поганий збут продукції, застій товару	Зменшення ціни на продукцію
3	Банкрутство фабрики	Припинення виробництва продукції	Переорієнтація підприємства
4	Висока конкуренція	Поганий збут товару	Зменшення ціни на продукцію
5	Висока ціна на сировину	Висока ціна на виготовлену продукцію, поганий збут товару на ринку	Пошук інших джерел постачання сирвини, зменшення якості товару
6	Погодні умови	Невчасна поставка сировини	Пошук додаткових джерел поставки сировини

Результати аналізу факторів можливостей, наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зовнішня політика	Експорт продукції	Розширення ринку, збільшення прибутку
2	Кваліфікація персоналу	Високо налагоджене виробництво	Збільшення продуктивності, кращий збут продукції

Далі проводили аналіз загальних рис конкуренції на ринку, результати наведено в табл. 8.8.

Таблиця 8.7 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - чиста	Існує багато підприємств з виробництвом схожим асортиментом продукції	Вища якість продукції за доступну ціну
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний	Прийнятний клімат, інвестиційна привабливість, захищеність прав власності, рівень безпеки, близькість до науково-освітніх центрів, наявність кваліфікованого персоналу, позитивні демографічні тенденції	Збільшення продуктивності виробництва
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Санітарно-гігієнічний папір є одним із видів целюлозно-паперової продукції	Виготовлення паперу з додаванням наноцелюлози, дає можливість отримати продукцію за доступною ціною
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Санітарно-гігієнічний папір є одним із видів целюлозно-паперової продукції	Виготовлення паперу з додаванням наноцелюлози, дає можливість отримати продукцію вищої якості за доступною ціною
5. За характером конкурентних переваг - цінова	На продукцію встановлена ціна	Невисока вартість товару, в порівнянні з читої целюлози
6. За інтенсивністю - марочна	Власне виробництво торгової марки	Приваблива упаковка, яка притягне увагу споживачів

Після цього дослідили і визначили можливість конкуренції в даній сфері виробництва, результати наведено табл. 8.9.

Таблиця 8.8 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Т.П. «Обухів 65», «Диво», «Панда»	Бар'єром входження на ринок може бути місткість галузевого ринку	у постачальників немає факторів сили	товари стандартний рівень диференціації низький	фактор загрози через ціну та рівень інновації
Висновки:	Нижча вартість ніж у целюлозного паперу; нижчі фізико-механічні характеристики ніж у целюлозного паперу	- є можливості входу в ринок - є потенційні конкуренти Строки виходу на ринок 6 місяців.	Постачальники не диктують умови роботи на ринку.	Клієнти не диктують умови роботи на ринку.	Обмеження для роботи на ринку через товари-замінники можливе.

Проаналізувавши табл. 8.9 та врахувавши ідеї проекту в табл. 8.2, потреби споживачів до продукції в табл 8.5 та фактори маркетингового середовища в табл № 8.6-8.7 визначили фактори конкурентоспроможності, результати наведено в табл. 8.10.

Таблиця 8.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Низька ціна	Продукція відносно дешева тому, що виготовляється з додаванням наноцелюлози.
2	Білість	Продукція білого кольору, за невисоку ціну
3	Якість, фізико-механічні показники	Продукція якісна, адже виготовляється з первинного волокна та фізико-механічні показники задовільняють вимоги стандарту.

За факторами конкурентоспроможності (табл. 10) провели аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту, результати наведено в табл. 8.11.

Таблиця 8.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Низька ціна	19			+				
2	Білість	15						+	
3	Якість, фізико-механічні показники	15							+

На закінчення аналізу ринкової спроможності проекту склали SWOT-аналіз: враховуючи всіх сторін слабких (Weak) і сильних (Strength), небезпек (Troubles) та перспектив (Opportunities), результати наведено в табл 8.12, враховуючи визначені раніше проведені дослідження в табл. 8.11.

Таблиця 8.11 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Менша вартість готового продукту ніж з 100% целюлози;	Слабкі сторони: Вища вартість ніж у макулатурного паперу;
Можливості: легший збут продукції із-за дешевизни товару;	Загрози: висока конкурентність з виробниками макулатурного СГ паперу;

Також розробили варіанти ринкових заходів для виведення стартап-проекту на ринок та забезпечити приблизний оптимальний час на реалізацію. Результати аналізу наведено в табл. 8.12.

Таблиця 8.12 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
	Для впровадження стартап-проекту потрібно встановити два потоки, встановлення напускних пристроїв для подання наноцелюлози.	Висока ймовірність	Даний стартап можна впровадити за 6 місяців.

Визначення охоплення ринку: опис сегменту потенційних споживачів, результати наведено в табл. 8.13.

Таблиця 8.13 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів за купівельною спроможливістю	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Низька	Низька готовність	Низький попит	Низькоконкурентна продукція	Важко
2	Середня	100 % готовність	Високий попит	Висококонкурентна продукція	Дуже просто
3	Висока	100 % готовність	Високий попит	Висококонкурентна продукція	Дуже просто
Обрано такі цільові групи як: середня та висока купівлеспроможність					

Результати аналізу стратегії розвитку для роботи в обраних цільових групах ринку наведено в табл. 8.14.

Таблиця 8.14 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/ п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспро- можні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Додавання ноноцелюлози	Інтенсивний розподіл	Вища якість за доступною ціною	Стратегія лідерства по витратам

Результати обраної стратегії конкурентної поведінки наведено в табл. 8.15

Таблиця 3.15 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Забирати існуючих у конкурентів	Буде новий продукт з схожими характеристиками.	Стратегія виклику лідера

Розроблені стратегії позиціонування результати наведено в табл. 8.16.

Таблиця 8.16 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/ п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспро- мні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
	Вища якість, доступна ціна, приємний зовнішній вигляд товару	Стратегія лідера по витратам	Вища якість за доступною ціною.	1. використання первинного волокна 2. додавання наноцелюлози

Сформували маркетингову концепцію товару, який може отримати споживач. Результати визначення ключових переваг концепції потенційного товару наведено в табл. 8.17

Таблиця 8.17 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Санітарно-гігієнічна	Вища якість за доступну ціну	Нижча вартість ніж у целюлозного паперу;

Визначили цінові межі на потенційну продукцію, результати наведені в табл. 8.18.

Таблиця 8.18 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	≈ 10 грн	≈ 10 грн	Низький/середній	≈ 6-8 грн

Визначили систему збуту, результати аналізу наведено в табл. 8.19.

Таблиця 8.19 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Клієнти зможуть купувати товар, як по одній одиниці, так і партіями.	Збут може виконуватись в магазинах та супермаркетах.	Збут може бути скрізь.	Супермаркет, мережа роздрібних магазинів.

Спираючись на основу для позиціонування розробили концепції маркетингової комунікації (табл. 8.20).

Таблиця 8.20 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цілових клієнтів	Канали комунікації, якими користують ся цілові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуван ня	Завдання рекламн ого повідомл ення	Концепція рекламного звернення
	Групам середньою та високою купівельної спроможності буде цікавий даний товар	Реклами в інтернеті	Екологічно чистий продукт.	Розказат и про товар.	Висока якість, за доступну ціну.

Під час розробки проекту на основі проведених досліджень врахували потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможність проекту та можна зробити висновки, що перспектива впровадження даного стартап проекту є цілком реальним. Також є можливість ринкової комерціалізації, як варіант, для ринкової реалізації проекту доцільно використовувати запропоновану технологію.

ВИСНОВКИ

В магістерської роботи з метою зменшення використання хвойної целюлози і збереження фізико-механічних показників санітарно-гігієнічного паперу запропоновано використовувати наноцелюлозу із пшеничної соломи.

1. Проведено літературний огляд по темі впровадження наноцелюлози у виробництво паперу і картону. Виявлено, що при додаванні у волокно 1% наноцелюлози зменшуються витрати волокна, зменшуються товщина паперу приблизно на 15% в порівнянні з папером без додавання наноцібрильованої целюлози.

2. Екологічно чистим способом отримано органосольвентну целюлозу із пшеничної соломи. Визначено, що збільшення тривалості варіння зменшує вихід целюлози, залишковий вміст у ній лігніну і мінеральних речовин.

3. Досліджено процес одержання наноцелюлози із органосольвентної целюлози. Встановлено, що вищу міцність на розрив мають зразки, отримані за умов гідролізу сільфатною кислотою з концентрацією 43 %, впродовж 90 хв та щільність отриманих зразків наноцелюлозних плівок знаходиться в межах від 0,75 г/см³ до 1,25 г/см³.

4. Проаналізовано вплив наноцелюлози на технічні умови показнику санітарно-гігієнічного паперу. Показано, що при додаванні 3% наноцелюлози у волокно призводить до зростання показника розривного зусилля паперу на 11%.

5. Запропоновано реконструкцію технологічного потоку з виробництва санітарно-гігієнічного паперу з целюлози та з додаванням наноцелюлози і введенням таких інновацій:

- впровадити два потоки підготовки маси для покращення процесу розмелювання целюлози і підвищення продуктивність масопідготовчого відділу;

- встановити плоскосітковий формувальний пристрій для підвищення продуктивності папероробної машини;

- збільшити кількість відсмоктувальних ящиків за рахунок встановлення ящиків типу Ротобельт, що дасть змогу відрегулювати зневоднення на сітковому столі та збільшити сухість паперового полотна та дозволить заощадити пару на сушіння паперу;

6. Проведено розрахунок та вибір основного технологічного обладнання технологічного потоку виробництва санітарно-гігієнічного паперу.

7. Розроблено стартап-проект виробництва санітарно-гігієнічного паперу. Проведено порівняння вартості товару готової продукції з провідними виробниками України, порівняння сильних та слабких сторін санітарно-гігієнічного паперу з додаванням наноцелюлози, охоплення ринку, стратегії розвитку та сформовано маркетингову концепцію товару. Встановлено межі цін у порівнянні з виробами з макулатури та зі 100% целюлози та показано, що використання отриманого продукту зможуть зацікавити потенційних клієнтів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Примаков С.П., Барбаш В.А. Технологія паперу і картону/ Навчальний Посібник/ Друге видання,переробл. – Київ: ЕКМО, 2008 – 425 с.
2. Zambrano, F., Starkey, H., Wang, Y., Abbati de Assis, C., Venditti, R., Pal, L., Jameel, H., Hubbe, M. A., Rojas, O. J., and Gonzalez, R . Using micro- and nanofibrillated cellulose as a means to reduce weight of paper products: A review, BioResources. Vol. 15(2), 2020 p. 4553-4590.
3. Остапенко А.А. Барбаш В.А. Оцінка впливу амфотерних полімерних смол на ступінь утримання волокна і забруднення підсіткових вод. Наукові вісті КПІ с. 132- 138.
4. Kemira's Vladimir Grigoriev, Mikko Mäkinen and Roberto Zulia. Strength technologies improve profitability Vol.19 2013.
5. Иванов С.Н., Техналогия бумаги/ учебное пособие/ Третье издание. – Москва: школа бумаги, 2006 – 696 с.
6. Mikaela Börjesson and Gunnar Westman. Crystalline Nanocellulose — Preparation, Modification, and Properties Fundamental Aspects and Current Trends. DOI: 10.5772/61899 Nov. 2014.
7. Viana L., D.C. Potulski G.I. Bolzon de Muniz, A.S. de Andrade, E.L. da Silva. Nanofibrillated cellulose as an additive for recycled paper vol.24 no.2 Lavras Apr./June 2018.
8. ТУ У 17.1-05509659-033:2013. Папір санітарно-гігієнічного призначення. ККПК, СТ, 2 с.
9. Государственный стандарт Союза ССР. Целлюлоза сульфатная беленая из хвойной древесины. ГОСТ:9571-89
10. Государственный стандарт Союза ССР. Целлюлоза сульфатная беленая из смеси лиственных пород древесины. ГОСТ 28172-89.

11. Барбаш В.А., Дейкун І.М. Хімія рослинних полімерів/ Навчальний посібник. Під редакцією В. А. Барбаша – Київ: Едельвейс, 2014. – 440 с.
12. Zelenchuk T.V., Deikun I.M., Barbash V.A. Obtaining of peracetic cellulose from oat straw for paper manufacturing *Naukovi Visti NTUU KPI*, 2017, № 5, p. 123-132
13. Непенин Н.Н., Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы: В 3т./М.:Экология, 1994. - Т.3: Очистка, сушка и отбелка целлюлозы. Прочие способы производства целлюлозы. - 592 с.
14. Barbash V. A., Yashchenko O. V., Shniruk O. M. Preparation and Properties of Nanocellulose from Organosolv Straw Pulp » *Nanoscale Research Letters*, 2017, 12:241 DOI 10.1186
15. Barbash V.A., Yashchenko O.V., Opolsky V.O Effect of Hydrolysis Conditions of Organosolv Pulp from Kenaf Fibers on the Physicochemical Properties of the Obtained Nanocellulose » *Theor Exp Chem*, 2018, Vol. 54, No. 3, pp. 193- 198
16. Barbash V.A., Yashchenko O.V., Vasylieva O. Preparation and properties of nanocellulose from *Miscanthus x giganteus*. *Hindawi Journal of Nanomaterials*, v. 2019, Article ID 3241968.
17. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – с.28

ДОДАТОК А

Збірник тез доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"

УДК 676.166.6+620.3

ОДЕРЖАННЯ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ ІЗ ПШЕНИЧНОЇ СОЛОМИ

магістрант Бойко В. В., інженер Ященко О. В.

професор, к. х. н. Барбаш В. А

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Досліджено хімічний склад пшеничної соломи та процеси отримання з неї целюлози з використанням пероцтового варіння та лужної обробки. Встановлено, що збільшення тривалості варіння призводить до зменшення виходу целюлози та залишкового вмісту в ній лігніну і мінеральних речовин, а лужна обробка дозволяє отримати целюлозу з мінімальним вмістом екстрактивних речовин. Показана можливість отримання із пшеничної соломи органосольвентної целюлози і наноцелюлози, яка може бути використана в різних галузях промисловості.

Ключові слова: пшенична соломи, целюлоза, варіння, лужна обробка, лігнін, зольність

The chemical composition of wheat straw and the processes of its production from cellulose with the use of peracetic cooking and alkaline treatment were investigated. It was found that increasing the duration of cooking leads to a decrease in the yield of cellulose and residual content of lignin and minerals, and alkaline treatment allows to obtain cellulose with a minimum content of extractives. The possibility of obtaining organosolvent pulp and nanocellulose from wheat straw, which can be used in various industries, is shown.

Keywords: wheat straw, cellulose, cooking, alkaline processing, lignin, ash

В даний час у світі наявне зростання використання целюлозно-паперової продукції для запобігання екологічної кризи, тому потреба у збільшенні виробництва целюлози та її похідних росте. Для отримання целюлози основною сировиною в світі залишається деревина хвойних і листяних порід. Для зменшення витрат деревини вченими здійснюють пошук альтернативних джерел рослинної сировини, зокрема за рахунок недеревна рослинна сировина (НДРС). За хімічним складом основних компонентів та довжиною волокон НДРС не поступається деревині. До НДРС відносяться

Збірник тез доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"
різні види однорічних і багаторічних рослин, зокрема пшенична солома, яка є відходом сільського господарства після збору врожаю зерна [1].

В целюлозно-паперовій промисловості (ЦПП) існують традиційні методи отримання целюлози, серед них найбільш розповсюдженні сульфатний та сульфітний спосіб делігніфікації, які наносять шкоду навколишньому середовищу. ЦПП потребує розробки більш екологічно чистих технологій отримання целюлози, одним з яких є перексокислотний спосіб одержання целюлози. Тому метою даної роботи є дослідження методів одержання із пшеничної соломи целюлози для хімічного перероблення.

Для цього в роботі використовували пшеничну солому із Київської області. Після сортування і подрібнення стебел пшеничної соломи на січку довжиною 5-15 мм проводили її термохімічну обробку. Варіння целюлози проводили сумішшю оцтової кислоти і перексиду водню за співвідношення 70 : 30 об'ємних в скляних колбах за температури 98 ± 2 °C і гідромодуля 10:1. Результати варіння наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Показники органосольвентної солом'яної целюлози, % від а.с.с.

Час варіння	30 хв	1 год	1 год 30 хв	2 год
Вихід	58,2	51,1	50,0	48,9
Лігнін	0,93	0,65	0,55	0,27
Зольність	4,05	3,7	3,5	3,05

Як видно із даних табл. 1, збільшення тривалості варіння призводить до зменшення виходу целюлози та залишкового вмісту в ній лігніну і мінеральних речовин, що пояснюється інтенсифікацією процесу делігніфікації рослинної сировини із часом варіння [2].

Оскільки целюлоза для хімічного перероблення має містити тільки сліди інших, крім целюлози, компонентів, необхідно було провести додаткову обробку органосольвентної целюлози для зменшувати вмісту лігніну і мінеральних речовин. Для цього проведено лужну обробку отриманих зразків целюлози 7 % розчином NaOH, в результаті чого отримана

Збірник тез доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"
целюлоза із залишковим вмістом лігніну 0,1 % і мінеральних речовин 0,4 % від маси а.с.с.

Для отримання наноцелюлози проводили гідроліз органосольвентної целюлози розчином сульфатної кислоти концентрацією 45 %, за температури 60°C впродовж 60 хвилин за гідромодуля 10:1. Для отримання однорідної гелеподібної суспензії наноцелюлози проводили її ультразвукову обробку протягом 30 - 60 хв з використанням ультразвукового дезінтегратора UZDN-A. Для спостереження змін морфології рослинної сировини, органосольвентної целюлози, целюлози після лужної обробки та наноцелюлози використовували скануючий електронний мікроскоп REM-106I. Аліквоти наноцелюлозної суспензії поміщали в чашки Петрі для отримання плівок, які досліджували на щільність, термічну стійкість в термоаналізаторі Netzsch STA-409, прозорість в областях від 200 до 1100 нм на двопробеному спектрофотометрі 4802, визначення ступеня кристалічності після аналізу рентгенограм на дифрактометрі Ultima IV, нанорозмірність на електронному мікроскопі TEM125K.

Аналіз зображень скануючої електронної мікроскопії показав, що стебло соломи пшениці складаються з великої кількості щільно з'єднаних між собою клітин, що утворюють щільну структуру. Делігніфікація соломи в кислому середовищі приводить до поділу їх на фібрили. Лужна обробка призводить до часткового зменшення довжини волокон і вилучення лігніну та мінеральних речовин. Електронні мікрофотографії наноцелюлози після кислотного гідролізу та ультразвукової обробки показують відсутність будь-яких домішок, що свідчить про отримання нанорозмірних частинок. Таким чином, показана можливість отримання із пшеничної соломи органосольвентної целюлози і наноцелюлози, яка може бути використана в різних галузях промисловості, зокрема у целюлозно-паперовій як зміцнююча добавка у виробництві паперу і картону.

1. Барбаш В. А. Інноваційні технології рослинного ресурсозбереження: навч. посібн. – Київ: Каравела, 2018. – 288 с.

2. Непенин Н.Н., Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы: В 3т. / М.: Экология, 1994. – Т.3: Очистка, сушка и отбелка целлюлозы. Прочие способы производства целлюлозы. – 592 с.

**USE OF NANOCELLULOSE FROM WHEAT STRAW AS A
REINFORCING ADDITIVE IN PAPER PRODUCTION**

post graduated student Boyko V.V., engineer Yashchenko O.V.

professor, Ph.D Barbash V.A.

**National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

The organosolv wheat straw pulp (OSP) was prepared by the environmentally friendly organosolv method - cooking in a solution of peracetic acid at the first stage and the alkaline treatment at the second stage. To obtain the nanocellulose from the investigated organosolv pulp the process of its hydrolysis was carried out under the following conditions: 43% sulfuric acid, temperature 60 °C, hydrolysis time 60 min and ultrasonic treatment 60 min. Structural changes and crystallinity index of OSP and nanocellulose were studied by SEM and XRD methods. The nanocellulose had a density of up to 1.3 g/cm³, transparency up to 72%, a crystallinity index of 71.5%, and tensile strength up to 125 MPa. The AFM showed that the particles of nanocellulose have a diameter in the range from 16 to 20 nm. A TGA analysis confirmed that nanocellulose films have a denser structure and lower mass loss in the temperature range 320 – 440 °C compared to OSP. We established the positive effect of nanocellulose application on the physical and mechanical properties of paper.

Keywords: wheat straw, cellulose, nanocellulose, paper, physical and mechanical properties

Органосольвентна солом'яна целюлоза (ОСЦ) отримували екологічно чистим органосольвентним способом - варінням у розчині оцтової кислоти на першій стадії та лужною обробкою на другій стадії. Для отримання наноцелюлози з досліджуваної органосольвентної целюлози проводили процес

XIX міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"

її гідролізу за таких умов: 43% сірчаної кислоти, температура 60 °C, тривалість гідролізу 60 хв та ультразвукової обробки 60 хв. Структурні зміни та індекс кристалічності ОСЦ та наноцелюлози вивчали методами SEM та XRD. Наноцелюлоза мала щільність до 1,3 г /см³, прозорість до 72%, індекс кристалічності 71,5% та міцність на розрив до 125 МПа. AFM показав, що діаметр частинок наноцелюлози знаходяться в діапазоні від 16 до 20 нм. Аналіз TGA підтвердив, що плівки наноцелюлози мають щільнішу структуру і менші втрати маси в діапазоні температур 320 - 440 °C порівняно з ОСЦ. Встановлено позитивний вплив використання наноцелюлози на фізико-механічні властивості паперу.

Ключові слова: пшенична солома, целюлоза, наноцелюлоза, папір, фізико-механічні показники

In recent years, many studies have been conducted on the replacement of synthetic materials with natural substances. A reduction in the reserves of fossil resources (oil, gas and coal) underlines the relevance of research on the technologies of processing renewable sources into biodegradable consumer goods. Such resources include renewable plant materials, the processed products of which are used in the chemical, pharmaceutical, paper, textile and electronic industries. The main component of all plants is cellulose, which is the most abundant renewable biopolymer on the Earth. Cellulose is used to produce the cutting-edge material—nanocellulose—which consists of nanosized particles and has unique properties. Nanocellulose has high elasticity and a specific surface, high transparency and chemical resistance, biodegradability and biocompatibility, a low production cost in comparison with synthetic polymers and has lightweight.

The main source of raw materials for the production of nanocellulose is wood pulp. To reduce the cost of wood and prevent the environmental crisis associated with the production of pulp by traditional methods of delignification, scientists are

XIX міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"

searching for alternative sources of plant raw materials, including agricultural waste. Such sources include, first of all, wheat straw, which is a large tonnage of agricultural waste after the grain harvest [1].

In the pulp and paper industry there are traditional methods of pulp production, among them the most common are sulfate and sulfite methods of delignification, which are harmful to the environment. The industry needs to develop more environmentally friendly technologies for pulp production, one of which is the peracetic acid method of pulp production.

Stalks of wheat straw of a harvest of 2018 from the Kyiv region were used for pulp production. Prior to research, the raw material was ground to 2–5 mm and stored in a desiccator to maintain constant moisture content and chemical composition. Cooking of wheat straw pulp (OSP) was carried out in the two stages. At the first stage, treatment of wheat straw in the mixture of glacial acetic acid and 35 % hydrogen peroxide in a volume ratio of 70:30 % at the liquid to solid ratio 10:1, at temperature 95 ± 2 °C during 120 min was carried out. At the second stage, the alkaline treatment of obtained OSP by solution of NaOH concentration of 7 % during 120 min, at the liquid to solid ratio 12:1 at temperature 95 ± 2 °C was carried out. The OSP had the following indicators: yield - 48.9 %, lignin - 0.27 %, ash content - 3.05 % by weight of dry raw materials.

To obtain the nanocellulose from the investigated OSP the process of its hydrolysis was carried out under the following conditions: 43% sulfuric acid, temperature 60 °C, hydrolysis time 60 min and ultrasonic treatment 60 min. Structural changes and crystallinity index of OSP and nanocellulose were studied by SEM and XRD methods. The nanocellulose had a density of up to 1.3 g/cm³, transparency up to 72%, a crystallinity index of 71.5%, and tensile strength up to 125 MPa. The AFM showed that the particles of nanocellulose have a diameter in the range from 16 to 20 nm. A TGA analysis confirmed that nanocellulose films have a denser structure and lower mass loss in the temperature range 320 – 440 °C compared to OSP.

XIX міжнародна науково-практична конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"

It was found that the density of nanocellulose samples increases with increasing duration of hydrolysis, in addition, ultrasonic treatment of nanocellulose suspensions leads to an increase in the density of nanocellulose films. This dependence is associated with a reduction in the size of cellulose fibrils and the formation of strong hydrogen short bonds. Standard laboratory handsheets samples of paper with additive of nanocellulose (NC) with consumption 5 % and 10% from mass pulp were prepared using a Rapid-Kothen machine according to TAPPI standard. The table shows the physical and mechanical properties of the paper depending on the consumption of nanocellulose [2]. As can be seen from the data in the table, the addition of nanocellulose improves the physical and mechanical properties of the paper.

This dependence is due to the fact that the tensile and tear properties directly depend on the interfiber bonds and the formation and structure of the paper. Smaller fibers or nanofibrillated fibers have increased the specific area and more points of contact, increasing the number of bonds. Increasing these bonds increases the apparent density as well as the resistance to stretching and tearing.

Table - Physical and mechanical properties of the paper depending on the consumption of nanocellulose

Paper quality indicators	without NC	with the addition of 5% NC	with the addition of 10% NC
Thickness, μm	158	148	134
Density, g/cm^3	0,40	0,46	0,48
Burst index, $\text{kPa m}^2/\text{g}$	1,7	2,7	3,4
Tensile index, N m/g	19,8	30,0	39,0
Tear index, mNm^2/g	4,5	7,0	10,2

Thus, it is shown that the use of nanocellulose as a reinforcing additive allows to increase the physical and mechanical properties of paper by 50 - 100%. The

XIX міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"

potential for adding nanocellulose to products is to reduce the use of softwood pulp while maintaining the physical and mechanical properties of the finished product. The presence of NC in the paper increases the interaction between the cellulose fibers and promotes better regrouping, filling the gaps between the fibers during paper production, and providing a more uniform and compact structure.

1. Barbash V.A., Yashchenko O.V., Vasylieva O.A. Preparation and application of nanocellulose from *Miscanthus × giganteus* to improve the quality of paper for bags. SN Applied Sciences, 2020, 2:727. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2529-2>.

2. Viana L.C., Potulski D.C., Muniz G.I.B., Andrade A.S., Silva E.L. Nanofibrillated cellulose as an additive for recycled paper. CERNE, 2018, 24:2, p. 140-148.